

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problem Mailbox.**

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日  
Date of Application:

2003年 1月30日

出 願 番 号  
Application Number:

特願2003-021852

[ST.10/C]:

[JP2003-021852]

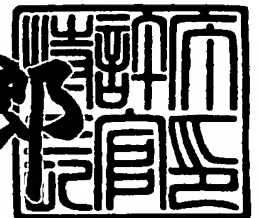
出 願 人  
Applicant(s):

松下電器産業株式会社

2003年 4月15日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田 信一郎



出証番号 出証特2003-3026937

【書類名】 特許願

【整理番号】 2931040125

【提出日】 平成15年 1月30日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01H 59/00

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 清水 紀智

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 中西 淑人

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 中村 邦彦

【発明者】

    【住所又は居所】 大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 松下電器産業株式会社内

    【氏名】 内藤 康幸

【特許出願人】

    【識別番号】 000005821

    【氏名又は名称】 松下電器産業株式会社

【代理人】

    【識別番号】 100097445

    【弁理士】

    【氏名又は名称】 岩橋 文雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100103355

【弁理士】

【氏名又は名称】 坂口 智康

【選任した代理人】

【識別番号】 100109667

【弁理士】

【氏名又は名称】 内藤 浩樹

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 特願2002-221009

【出願日】 平成14年 7月30日

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011305

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9809938

【書類名】 明細書

【発明の名称】 スイッチおよびスイッチの形成方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 可動電極と可動電極の両側面に所定の空間を介して位置する可動電極駆動用固定電極と、前記可動電極と所定の空間を介して可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極からなり、

前記可動電極の側面における所定の位置に複数の凸部と凹部の形状を有し、前記可動電極駆動用固定電極には前記可動電極の側面の凸部と凹部にそれぞれ対応した凹部と凸部の形状を有し、可動電極の側面に形成された凸部は可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたスイッチ。

【請求項 2】 前記可動電極の側面に形成された凸部は、この凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴とした請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 3】 前記可動電極駆動用固定電極の凸部は、可動電極駆動用固定電極の凸部の長さより短い距離からなる所定の空間を介して可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴とした請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 4】 可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚が同じであることを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 5】 可動電極と可動電極駆動用固定電極を、同一工程で形成した膜をエッチングすることで可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成することを特徴とする、請求項 4 記載のスイッチ。

【請求項 6】 可動電極と可動電極駆動用固定電極を同一のメッキ工程で可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成することを特徴とする、請求項 4 記載のスイッチ。

【請求項 7】 可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は同一犠牲層上に形成することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 8】 基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成するステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は同一犠牲層上に形成するステップからなるスイッチの形成方法。

【請求項 9】 可動電極および可動電極駆動用固定電極を配置する場所にレジストマスクを形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成するステップと、レジストマスクおよび犠牲層を除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに設けた請求項 8 記載のスイッチの形成方法。

【請求項 10】 可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部はレジストからなる犠牲層上に形成することを特徴とする請求項 7 記載のスイッチ。

【請求項 11】 可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部はポリイミドからなる犠牲層上に形成することを特徴する、請求項 7 記載のスイッチ。

【請求項 12】 請求項 8 記載の犠牲層をポリイミドで形成するステップと、全面に AL 膜をスパッタリング法により形成するステップをさらに設けた請求項 8 記載のスイッチの形成方法。

【請求項 13】 可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 14】 信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 15】 基板上にシリコン酸化膜を形成するステップと、前記シリコン酸化膜上に金属を形成するステップと、金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングするステップと、金属をエッチングして電極間絶縁保持用シリコン酸化膜を形成するステップと、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用パターンを形成するステップから少なくともなるスイッチの形成方法。

【請求項 16】 犠牲層を形成するステップと、全面に AL 膜をスパッタリン

グ法により形成するステップと、可動電極を形成してから犠牲層および段差緩和用パターンを除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに設けた請求項 1 5 記載のスイッチの形成方法。

【請求項 1 7】 犠牲層を形成するステップと、全面に A L 膜をスパッタリング法により形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を配置する場所に可動電極形成用マスクおよび可動電極駆動用固定電極形成用マスクを形成するステップと、可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成してから犠牲層および段差緩和用パターンを除去して容量低減用空間を形成するステップとをさらに設けた請求項 1 5 記載のスイッチの形成方法。

【請求項 1 8】 信号伝達用固定電極は、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成する複数の凸部と凹部に対応した凸部と凹部の形状を側面に有することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 1 9】 可動電極の長辺方向両側面に位置する両可動電極駆動用固定電極の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 0】 可動電極の長辺方向側面の両側の凸部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さくかつ可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 1】 可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 2】 可動電極面の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 3】 可動電極駆動用固定電極の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 4】 可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態において、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 5】 可動電極の側面の複数の凸部のインピーダンスは、少なくとも複数の凸部以外の可動電極の部分からなるインピーダンスより高いことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 6】 前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可する時間は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、可動電極の側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極の側面の凹部とで形成される所定の空間の中でもっとも短い距離の移動に要する時間以下とすることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 7】 前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可する時間は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となる時間であることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 8】 信号を増幅する増幅器と、アンテナと、前記増幅器とアンテナを接続する直列接続スイッチとしての前記信号伝達用固定電極と、接地側と接続する対接地接続スイッチとしての前記可動電極とを備え、直列接続スイッチと対接地接続スイッチを交互に接続、切断することにより信号の入出力制御を行う請求項 1 記載のスイッチ。

【請求項 2 9】 前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触していない状態において、温度変化が生じた場合に、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチ。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ON/OFF時の動作速度を向上させたスイッチとそのスイッチの形成方法に関する。



## 【 0 0 0 2 】

## 【従来の技術】

従来における信号のスイッチとしては、例えば非特許文献 1 が知られており、図 2 5 に示すように高抵抗シリコン基板 1 0 0 0 1 上に形成した信号伝達線 1 0 0 0 2 と信号伝送線上に所定の空間を介し配置された可動接地線 1 0 0 0 3 および接地線 1 0 0 0 4 から構成される。このようなスイッチにおいては、図 2 6 に示すように可動接地線 1 0 1 0 3 と信号伝達線 1 0 1 0 2 からなる平行平板のキャパシタンス容量間に電圧を印可することで静電力を発生させ可動接地線 1 0 1 0 3 と信号伝達線 1 0 1 0 2 を高誘電体膜 1 0 1 0 5 を介して接触させる。接触により信号伝達線と可動接地線間で形成されるキャパシタ容量が大きくなり、その容量に応じた周波数成分の信号が伝達される。

## 【 0 0 0 3 】

このように可動接地線と信号伝達線間の電圧を制御することで信号伝達線から可動接地線へと信号の伝達の接続ならび切断を制御する事が可能となる。さらに、この方式によれば L S I の製造工程と同様の工程で信号のスイッチを形成することができ、トランジスタ等の回路と同じ部分に信号のスイッチを形成することで、周波数特性や小型化に有利なスイッチを形成することが可能となる。

## 【 0 0 0 4 】

信号の接続時、切断時ともに動作速度を向上させる手段として、可動電極を 2 方向に駆動するためにシーソーの形状を持たせたものも提案されており、例えば、非特許文献 2 に記されている。図 2 7 に示すように G a A s 基板 1 0 2 0 1 上に形成した可動電極 1 0 2 0 3 と引っ張り電極 1 0 2 0 5 もしくは押し電極 1 0 2 0 6 間に電圧を印可することで、可動電極はねじれバネ 1 0 2 0 7 を中心とした回転運動を行う。可動電極と引っ張り電極間に電圧を印可した場合は接触電極 1 0 2 0 4 は信号線 1 0 2 0 2 に接触する方向に、また、可動電極と押し電極間に電圧を印可した場合、接触電極は信号線から離れる方向に動くことで、可動電極と接触電極からなるキャパシタ容量を変化させることで接触電極および信号線間の信号を接続および切断制御を行うものである。

## 【 0 0 0 5 】

○

微小部品を駆動させる方法としては、前記平行平板への電圧印可による静電力の他、凸部と凹部の組み合わせによる櫛歯駆動が知られており、例えば非特許文献3が知られており、また、図28において、10304静止櫛形電極と10405可動櫛形電極間に電圧を印可することで、10302ねじればねを中心に10301反射鏡に回転運動をさせるものである。

## 【0006】

## 【非特許文献1】

アイトリプルイー、2001年インターナショナル・エレクトロン・デバイス・ミーティング予稿集921ページ(IEDM Tech. Digest 01, p921, 2001)。

## 【非特許文献2】

ジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジックス論文集、2001年、40巻、2721ページ(Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 40, p2721, 2001)。

## 【非特許文献3】

アイトリプルイー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス2002年予稿集532ページ(MEMS 2002 Tech. Dig., p532, 2002)。

## 【0007】

## 【発明が解決しようとする課題】

これらスイッチにおいては信号伝達時の伝達効率並びに切断時の絶縁性とまた信号の接続切断の高速な動作が要求されている。

## 【0008】

しかしながら、LSIの製造工程と同様の工程でスイッチが形成可能な、信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成する装置の場合、可動電極を駆動する電極が信号伝達線のみであり、信号を信号伝達線から接地線へ切り替える場合には可動接地線と信号伝達線の間に電圧を印可し、駆動力を得ることが可能であるが、接地線へと伝達している信号を切断する場合は、可動接地線を構成する材料の有するバネのたわみが戻ることのみにより動作させていたため、切り替え速度を早くすることは困難である。また、バネ常数の高い材料を用いれば接地線へと伝

達している信号を切断する切り替え速度を向上することが可能であるがトレードオフとして信号伝達線から接地線へと切り替える場合の動作速度が遅くなる、可動接地線と信号伝達線の間に印可する電圧が高くなる等の問題を有していた。

## 【0009】

また、このような信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成するスイッチにおいては、製造工程において信号伝送線の形成後、信号伝送線および可動接地線はエッチングされず該当材料のみエッチングされる犠牲層を正確な膜厚で形成し、しかる後、可動接地線を形成する。さらにその後、信号伝送線および可動接地線間の犠牲層を除去することで所定の空間を正確に形成する工程が一般的である。このような工程で形成する、信号伝送線上に空間を介し可動接地線を形成するスイッチにおいて、可動接地線上にさらに固定の可動接地線駆動用電極を設ける3層構造とした場合、接地線へと伝達している信号を切断する場合においても、可動接地線を高速に動かすことが可能となる。しかしながら、このような3層構造では製造工程において可動接地線の下のみならず可動接地線の上の犠牲層も正確に形成する必要があり、製造工程が複雑になってしまう。さらに、3層構造とした場合、信号伝送線、犠牲層、可動接地線、犠牲層、可動接地線駆動用電極と実際の工程では5層からなる段差が発生し、このような高段差に対してパターン形成などの工程を行うことは実質的に不可能である。

## 【0010】

またこのように梁構造でスイッチを形成する場合、温度変化によって、応力が変化する。これは梁を構成する材料と、基板を構成する材料の熱膨張係数が異なる場合に生じる。梁の応力が変化すると、梁のばね定数が変化するため、スイッチの応答時間および駆動電圧が変化する。

## 【0011】

また最悪の場合、「JOURNAL OF MICROELECTROMECHANICAL SYSTEM, VOL.11, NO. 4 AUGUST 2002 p309」に記載されているように、温度変化により、梁が2  $\mu$  m以上も撓むことが知られている。

## 【0012】

高速応答化を図るためには、可動電極の駆動距離を所望のアイソレーションを

得られる必要最小限の距離にする必要があるが、動作環境の変動を考慮すれば、温度変化により梁が撓む量も考慮して、電極間の距離を余分に長くする必要がある。このため、応答時間が更に遅くなるという課題を有していた。

【 0 0 1 3 】

一方、シーソー型にした場合、信号電極と接触電極が重なった部分の面積でキャパシタ容量が形成される。

【 0 0 1 4 】

この容量の大きさにより伝達可能な信号の周波数および伝達効率が決まるため、接触電極の大きさは接続切断制御したい信号により決まり、ある決まった周波数の信号に対して接続、切断の特性を得るためには接触電極の大きさを小さくすることは不可能である。さらに可動電極全体の質量は接触電極の質量に加え引っ張り電極および押し電極とのキャパシタ容量も形成する部分も必要となってしまう。その結果、シーソー型の場合、直接信号の接続、切断に関与する部分以外にも電極を形成する必要があるため、可動電極全体の質量がより増加してしまう。そのため、より高速な接続、切断動作に対して不利になるという問題を有している。

【 0 0 1 5 】

さらに櫛形電極を用いた駆動方式では、基板面内方向に駆動を行うものについては比較的容易に形成が可能であるが、基板垂直方向に駆動するものでは高さ方向に構造物を形成する必要があるため形成工程が複雑になってしまうという問題を有している。

【 0 0 1 6 】

本発明の目的は、かかる課題を解決すべく、可動電極の下方向の駆動と上方向の駆動を分離することで、構造物の高さを必要とすることなく、また信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うスイッチを提供することである。

【 0 0 1 7 】

【課題を解決するための手段】

上記目的を解決するために具体的に請求項 1 の講じた手段は、スイッチにおいて可動電極と可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極と可動電極の長辺方

向の両側面に位置する可動電極駆動用固定電極からなり、可動電極の側面に凸部と凹部の形状を形成し、可動電極駆動用固定電極にも可動電極の側面の凸部と凹部に対応した凹部と凸部を形成し、可動電極の側面に形成された凸部は、可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部は、可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置することで、可動電極の下方向の駆動には可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極と可動電極間の静電力により、可動電極の上方向の駆動には可動電極駆動用固定電極の凸部と凹部および可動電極の側面に形成された凹部と凸部の間の静電力により可動電極を駆動することで、下方向の駆動と上方向の駆動を分離することで、構造物の高さを必要とすることなく、また信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うものである。

## 【 0 0 1 8 】

請求項 4 の講じた手段は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同じ膜厚とすることで、可動電極と可動電極駆動用固定電極に電圧を印可することにより可動電極を上方向に駆動した場合、静電力による可動電極の上方向の安定位置が可動電極駆動用固定電極の同じ位置にするものである。

## 【 0 0 1 9 】

請求項 5 の講じた手段は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を、同一工程で形成した膜に対してエッチングすることで形成するスイッチの形成方法であり、可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚を容易に制御するものである。

## 【 0 0 2 0 】

請求項 6 の講じた手段は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同時のメッキ工程で形成することで可動電極と可動電極駆動用固定電極を形成するスイッチの形成方法であり、可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚を容易に制御するものである。

## 【 0 0 2 1 】

請求項 7 の講じた手段は、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の一部分は同一犠牲層上に形成するスイッチの形成方法であり、可動電極と可動電極の側面の凸

部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の、信号伝達用固定電極からの高さを正確に制御することが可能となる。

## 【 0 0 2 2 】

請求項 1 0 の講じた手段は、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の一部分はレジストからなる犠牲層上に形成するスイッチの形成方法であり、犠牲層にレジストを用いることで、犠牲層除去工程をドライプロセスで行うことが可能となり、犠牲層除去後の液体プロセス工程で問題となる表面張力による意図しない部分への吸着いわゆるスティッキングを防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 2 3 】

請求項 1 1 の講じた手段は、可動電極と可動電極の側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の一部分はポリイミドからなる犠牲層上に形成するスイッチの形成方法であり、請求項 6 の場合と同様、犠牲層除去工程をドライプロセスで行うことが可能となり、スティッキングを防ぐことが可能となる。さらに、ポリイミドを用いることで犠牲層形成後のプロセス温度を 3 0 0 ℃程度で行うことが可能となり、犠牲層形成後の工程の工程自由度を大きく取ることが可能となる。

## 【 0 0 2 4 】

請求項 1 3 の講じた手段は、可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成するスイッチの形成方法であり、段差緩和用のパターンを形成することで可動電極駆動用固定電極の強度不足、断線を防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 2 5 】

請求項 1 4 の講じた手段は、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成するスイッチの形成方法であり、段差緩和用のパターンを形成することで、可動電極の強度不足、断線を防ぐことが可能となる。さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間の空間の距離の正確な制御も可能となる。また、可動電極の側面の凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の形状がより微細な大きさのパターンまで容易に形成することが可能となる。

## 【 0 0 2 6 】

請求項 1 8 の講じた手段は、信号伝達用固定電極側面は可動電極の側面の凸部と凹部に対応した凸部と凹部を形状を有するスイッチであり、信号伝達用固定電極を前記形状とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は大きく、一方、可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量は小さくすることが可能となる。

## 【 0 0 2 7 】

請求項 1 9 の講じた手段は、可動電極の長辺方向両側面に位置する両可動電極駆動用固定電極の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいスイッチであり、前記配置とすることで可動電極および可動電極の側面と可動電極駆動用固定電極に形成した凸部および凹部全てが信号伝達用固定電極の上に配置することで段差のない部分に形成できるため凸部と凹部の微細なパターン形成が可能となる。さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量を最大にすることが可能となる。

## 【 0 0 2 8 】

請求項 2 0 の講じた手段は、可動電極の長辺方向側面の両側の凸部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さくかつ可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいスイッチであり、前記配置とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は大きく、かつ可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量は小さくすることが可能となる。

## 【 0 0 2 9 】

請求項 2 1 の講じた手段は、可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅が小さいスイッチであり、前記構成とすることで、可動電極長辺方向側面の所定の位置に形成する凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極に形成する凸部と凹部は段差のない部分に配置でき凸部と凹部の微細なパターン形成が可能となる。さらに、可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量を小さくすることが可能となる。

## 【 0 0 3 0 】

請求項 2 2 の講じた手段は、複数の穴を可動電極面内に設けたスイッチであり、穴を設けることでスイッチ形成工程において犠牲層除去を容易に行うことが可能となる。さらに、大気圧下でスイッチを動作させた場合、可動電極駆動時、可動電極と信号伝達用固定電極間の気体の粘性により動作速度が遅くなるのを防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 3 1 】

請求項 2 3 の講じた手段は、複数の穴を可動電極駆動用固定電極の所定の位置に設けたスイッチであり、スイッチ形成工程において犠牲層除去を容易に行うことが可能となる。

## 【 0 0 3 2 】

請求項 2 4 の講じた手段は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態において、可動電極の側面に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有する構造とすることで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可し、可動電極を信号伝達用固定電極から離す場合、効率よく静電引力を伝えることが可能となる。

## 【 0 0 3 3 】

請求項 2 5 の講じた手段は、可動電極の側面の複数の凸部のインピーダンスを少なくとも凸部以外の部分からなるインピーダンスより高くすることで、可動電極に信号が流れる場合においても、凸部の領域で発生する信号の損失を少なくすることが可能となる。

## 【 0 0 3 4 】

請求項 2 6 の講じた手段は、スイッチの動作において、可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可する時間は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から可動電極の側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部および可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極の側面の凹部とにより形成される空間の中で最も距離の短い部分の長さだけ移動するのに要する時間以下とすることで、仮に可動電極が可動電極長辺方向に移動した場合においても、可動電極と可動電極駆動用固定電極が接触することを防ぐことが可能となる。



## 【 0 0 3 5 】

請求項 2 7 の講じた手段は、スイッチの動作において、可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可する時間は可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となるまでの時間とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間に電圧を印可していないにも関わらず、信号伝達用固定電極を通過する信号により可動電極が信号伝達用固定電極と接触することを防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 3 6 】

請求項 2 8 の講じた手段は、増幅器とアンテナ間へスイッチを直列接続並びに対接地接続の形で配置することで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間で規制量量が増加した場合においても損失および切断不良を最小限に抑えるものである。

## 【 0 0 3 7 】

請求項 2 9 の講じた手段は、可動電極が信号伝達用固定電極と接触していない状態において、環境変動等により温度変化が生じた場合、可動電極の内部応力が変化するため、可動電極が撓み、可動電極と信号伝達用固定電極とのギャップが変化するが、可動電極と可動電極駆動用電極に静電力を印加させておけば、基板が撓むことを防止できるため、スイッチに温度補償機構を付加することができるものである。

## 【 0 0 3 8 】

## 【発明の実施の形態】

本発明の請求項 1 に記載の発明は、可動電極と可動電極の長辺方向の両側面に所定の空間を介して位置する可動電極駆動用固定電極と、前記可動電極と所定の空間を介して可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極からなり、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に複数の凸部と凹部の形状を有し、可動電極駆動用固定電極にも可動電極の側面の凸部と凹部に対応した凹部と凸部の形状を有し、

可動電極の側面に形成された凸部は可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたスイッチであり、信号伝達用固定電極と可動電極間に電圧を印可することで、信号伝達用固定電極と可動電極間の静電力により可動電極を信号伝達用固定電極と接触させる。可動電極が信号伝達用固定電極に接触することで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量が大きくなり、周波数成分を有する信号は信号伝達用固定電極と可動電極間で接続される。

## 【 0 0 3 9 】

請求項 2 に記載の発明は、前記可動電極の側面に形成された凸部は、可動電極の側面の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極駆動用固定電極に形成した凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたスイッチであり、請求項 3 に記載の発明は、前記可動電極駆動用固定電極の凸部は、可動電極駆動用固定電極の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して可動電極の側面の凹部に取り囲まれるように配置したことを特徴としたスイッチであり、信号伝達用固定電極と可動電極間に印可した電圧を 0 とし、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可することで、信号伝達用固定電極に接触している可動電極は可動電極駆動用固定電極との静電力により信号伝達用固定電極から所定の空間を介した位置に移動することで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量が小さくなり、周波数成分を有する信号は信号伝達用固定電極と可動電極間で切断されることで、信号の接続および切断動作を行うという作用を有する。

## 【 0 0 4 0 】

本発明の請求項 4 記載の発明は可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚が同じ事を特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、前記構造のスイッチにおいては、本来可動電極の膜厚は信号の伝達に障害とならない範囲で薄い方が、質量を小さくすることが可能となり、接続、切断動作の速度を速くするのに有効である。一方、可動電極駆動用固定電極の膜厚は段差を乗り越える部分を有するため、厚い方が強度的に有利となる。しかしながら、可動電極側面の凸部および凹部

、可動電極駆動用固定電極凹部および凸部間に電圧を印可することで可動電極に静電力を働かせ可動電極を上方向に駆動する場合、静電力は可動電極底部が固定電極底部より基板側に位置する場合および可動電極上面が固定電極上面より上側に位置する場合に大きな静電引力が発生する。そのため、可動電極とか可動電極駆動用固定電極の膜厚を同じ膜厚とすることで、静電力による可動電極の安定位置を正確に可動電極駆動用固定電極の位置と合わせることが可能となる。

## 【 0 0 4 1 】

本発明の請求項 5 記載の発明は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を、同一工程で形成した膜をエッチングすることで可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成する事を特徴とする、請求項 4 記載のスイッチの形成方法であり、可動電極と可動電極駆動用固定電極の正確な膜厚制御が可能である。さらに、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同一のマスクよりエッチング形成することで可動電極側面の凸部と両側に位置する可動電極駆動用固定電極の凹部間の所定空間のずれを最小に押さえることが可能となる。

## 【 0 0 4 2 】

本発明の請求項 6 記載の発明は、可動電極と可動電極駆動用固定電極を同一のメッキ工程で可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成することを特徴とする、請求項 2 記載のスイッチの形成方法であり、請求項 5 の場合と同様、同一工程で可動電極および可動電極駆動用固定電極を形成することで、膜厚の制御を容易に行うことが可能となる。

## 【 0 0 4 3 】

本発明の請求項 7 記載の発明は、可動電極と可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分は同一犠牲層上に形成する事を特徴とする、請求項 1 記載のスイッチの形成方法であり、可動電極だけでなく可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分に関しても同一の犠牲層上に形成することで、可動電極および可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の高さを、信号伝達用固定電極からの正確に制御することを可能とする。

## 【 0 0 4 4 】

本発明の請求項 1 0 記載の発明は、可動電極と可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分はレジストからなる犠牲層上に形成することを特徴とする、請求項 7 記載のスイッチの形成方法であり、犠牲層にレジストを用いることで、犠牲層除去工程を酸素プラズマによる犠牲層除去が可能となる。

## 【 0 0 4 5 】

本発明の請求項 1 1 記載の発明は、可動電極と可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部および可動電極駆動用固定電極の所定の部分はポリイミドからなる犠牲層上に形成することを特徴する、請求項 7 記載のスイッチであり、犠牲層にポリイミドを用いることで、酸素プラズマによる犠牲層除去が可能となり、犠牲層除去後の工程で液体中の処理を行う必要がなくなり可動電極と信号伝達用固定電極の吸着を防ぐことが可能となる。さらに、犠牲層にポリイミドを用いた場合、レジストは通常 1 5 0 ℃ 以下の熱処理にしか耐えることができないのに対し、3 0 0 ℃ 程度の熱処理に耐えることができるため、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極の形成時の工程処理温度を高くすることが可能となり、工程の自由度を大きく取ることが可能とする。

## 【 0 0 4 6 】

本発明の請求項 1 3 記載の発明は、可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチの形成方法であり、段差緩和用のパターンを形成することで段差緩和用のパターンを形成することで、可動電極駆動用固定電極の一部に極端に膜厚の薄い部分が形成されることを防ぐことが可能となり、可動電極駆動用固定電極の強度不足および断線を防ぐことを可能とする。

## 【 0 0 4 7 】

本発明の請求項 1 4 の発明は、信号伝達用固定電極の側面の所定の位置に段差緩和用のパターンを形成することを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチの形成方法であり、段差緩和用パターンを形成することで、段差緩和用パターンの形成位置に応じた効果が得られ、信号伝達用固定電極の短辺方向側面に段差緩和用のパターンを形成した場合、可動電極の強度不足、断線を防ぐことが可能となる。

さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間の空間の距離の正確な制御も可能となる。また、信号伝達用固定電極の長辺方向側面に段差緩和用のパターンを形成した場合、可動電極の側面の凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部の形状がより微な大きさのパターンまで容易に形成することを可能とする。

## 【 0 0 4 8 】

本発明の請求項 1 8 記載の発明は、信号伝達用固定電極は、可動電極の側面の所定の位置に形成する複数の凸部と凹部に対応した凸部と凹部の形状を側面に有する事を特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、信号伝達用固定電極を前記形状とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は可動電極側面に形成された複数の凸部の面積分大きくすることが可能となる。一方、可動電極駆動用固定電極の凸部の下部には信号伝達用固定電極が存在しないため、信号伝達用固定電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量を小さくすることが可能となる。さらに、信号伝達用固定電極に設ける凸部形状の幅が信号伝達用固定電極を流れる信号の周波数と比較して十分高いインピーダンスを持つ場合、信号伝達用固定電極に設けた凸部と凹部は伝達する信号に対して何ら悪影響を与え内にも関わらず、可動電極を下方向に駆動する場合、駆動力を増加させることが可能となる。

## 【 0 0 4 9 】

本発明の請求項 1 9 記載の発明は、可動電極の両側面に位置する両可動電極駆動用固定電極の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、可動電極および可動電極側面と可動電極駆動用固定電極に形成した凸部および凹部全てが信号伝達用固定電極の上に配置することで、実施の形態 6 の段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に形成した場合と同じ効果が得られ、可動電極側面と可動電極駆動用固定電極に形成した凸部および凹部全てが信号伝達用固定電極の上に配置することで、可動電極側面および可動電極駆動用固定電極形成のためのレジストマスク形成プロセスにおいて、より微細な凸部と凹部のパターン形成が可能となる。さらに、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量に関しても最大

にすることが可能となる。

【 0 0 5 0 】

本発明の請求項 2 0 記載の発明は、可動電極の長辺方向側面の両側の凸部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さくかつ可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が大きいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、可動電極の側面に形成される凸部と凹部の間に信号伝達用固定電極の端面を配置することで、可動電極の容量に大きく起因する凸部と凹部以外の部分は、信号伝達用固定電極が対向電極として存在し、かつ可動電極駆動用固定電極の凸部と凹部以外の部分は信号伝達用固定電極が存在しないため、可動電極と信号伝達用固定電極間のキャパシタ容量は比較的大きく、かつ可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量は小さくすることが可能となる。

【 0 0 5 1 】

本発明の請求項 2 1 記載の発明は、可動電極の長辺方向側面の両側の凹部間距離より信号伝達用固定電極の幅の方が小さいことを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、信号伝達用固定電極の幅が小さいことで、可動電極長辺方向側面に形成する凸部と凹部の形状および可動電極駆動用固定電極に形成する凸部と凹部は共に信号伝達用固定電極のない位置に配置することが可能となり、段差のない部分で形成することが可能である。その結果、段差のない部分でのパターン形成は、より微細なパターンの形成が可能となるため、可動電極長辺方向側面および可動電極駆動用固定電極に形成される、凸部と凹部のパターンはより微細なパターン形成が可能となる。さらに、可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の重なった領域がないため、可動電極駆動用固定電極と信号伝達用固定電極間の寄生容量を小さくすることが可能となる。

【 0 0 5 2 】

本発明の請求項 2 2 記載の発明は、可動電極面内の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、可動電極に複数の穴を設けることで、スイッチの形成工程において前記穴を通して犠牲層除去を行うことができるため、犠牲層除去を容易に行うことが可能となる。さらに、スイッチを

大気圧下で動作させて場合、可動電極駆動時、可動電極と信号伝達用固定電極間の気体の粘性により動作速度が制限されることを防ぐことができ、高速な接続、切断動作が可能となる。

## 【 0 0 5 3 】

本発明の請求項 2 3 記載の発明は、可動電極駆動用固定電極の所定の位置に複数の穴があることを特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、下部に犠牲層がある可動電極駆動用固定電極に複数の穴を設けることで、前記穴から犠牲層除去工程が進むことで犠牲層除去工程を容易にし、また大気圧下での動作においても、前記穴から気体の出入りが起こることで高速な接続、切断動作を行うことが可能となる。

## 【 0 0 5 4 】

本発明の請求項 2 4 の発明は、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態において、可動電極の長辺方向側面の所定の位置に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有することを特徴とする請求項 1 記載のスイッチであり、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態においても、可動電極側面に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有する構造とすることで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可し、可動電極を信号伝達用固定電極から離す場合、効率よく静電引力を伝えることが可能となる。

## 【 0 0 5 5 】

本発明の請求項 2 5 の発明は、可動電極側面の複数の凸部のインピーダンスは、少なくとも複数の凸部以外の可動電極の部分からなるインピーダンスより高い事を特徴とする、請求項 1 記載のスイッチであり、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態で、信号伝達用固定電極から可動電極へと信号が流れる場合、信号の一部は可動電極の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部からなるキャパシタンス容量を通して信号が漏れてしまう可能性がある。この漏れる信号の量は信号の周波数とキャパシタンスから計算されるインピーダンスと、可動電極側面の凸部の形状により規定されるインピーダンスの合計からなるインピーダンスによ

り規定される。一方、可動電極側面の凸部の形状から規定されるインピーダンスは数GHzの高周波帯では凸部の幅が狭いほど一般的にインピーダンスが高いことが知られている。従って、可動電極側面の凸部の幅を狭くし、可動電極側面の凸部におけるインピーダンスを可動電極の凸部以外の部分からなるインピーダンスより高くすることで、可動電極に信号が流れる場合、可動電極の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部からなるキャパシタンス容量を通して信号が漏れてしまい、伝達損失が発生することを少なくすることが可能となる。

## 【 0 0 5 6 】

本発明の請求項 2 6 の発明は、前記スイッチにおいて、可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可するのは可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極側面の凹部とで形成される所定の空間の中でもっとも短い距離の移動に要する時間以下とすることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチであり、スイッチの接続、切断動作において、可動電極が絶縁保持用酸化膜を介して信号伝達用固定電極と接触している状態から離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可し、静電力を働かせるのは、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部および可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極側面の凹部とにより形成される空間の中で最も距離の短い部分の長さだけ移動するのに要する時間以下とすることで、仮に可動電極が可動電極長辺方向に移動した場合においても、可動電極と可動電極駆動用固定電極が接触することを防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 5 7 】

本発明の請求項 2 7 の発明は、前記可動電極が信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可する時間は可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動



電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となる時間であることを特徴とする請求項 1 記載のスイッチであり、スイッチの動作において、可動電極が絶縁保持用酸化膜を介して信号伝達用固定電極と接触している状態から、所定の空間を介して信号伝達用固定電極と離れた位置に移動する場合、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可するのは可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態から、所定の空間幅になり、さらに次に可動電極が信号伝達用固定電極と接触する必要となるまでの時間とすることで、可動電極と信号伝達用固定電極間に電圧を印可していないにも関わらず、信号伝達用固定電極を通過する信号により可動電極が信号伝達用固定電極と接触することを防ぐことが可能となる。

## 【 0 0 5 8 】

本発明の請求項 2 8 の発明は、信号を増幅する増幅器と、アンテナと、前記増幅器とアンテナを接続する直列接続スイッチとしての前記信号伝達用固定電極と、接地側と接続する対接地接続スイッチとしての前記可動電極とを備え、直列接続スイッチと対接地接続スイッチを交互に接続、切断することにより信号の入出力制御を行うスイッチであり、信号の伝達経路を信号伝達用固定電極側から可動電極側へと伝達することで、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した時、可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量により信号の損失が発生した場合においても損失を最小限に抑えるものである。

## 【 0 0 5 9 】

本発明の請求項 2 9 の発明は、可動電極と信号伝達用固定電極が接触していない状態で、温度が変化した場合、内部応力の変化により、可動電極が撓み、可動電極と信号伝達用電極間の距離が変化するため、所望のアイソレーションがとれなくなるため、可動電極と信号伝達用固定電極が接触していない状態においては、常に可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加しておくことで、可動電極の位置を温度変化によらず常に一定の位置に固定でき、温度補償が可能となる。

## 【 0 0 6 0 】

## (実施の形態 1)

以下本発明の実施の形態 1 について図面を用いて説明する。

## 【 0 0 6 1 】

図 1 は本発明の実施の形態 1 の場合のスイッチの斜視図である。高抵抗シリコン基板 1 0 1 上のシリコン酸化膜 1 0 2 を介して、可動電極 1 0 3、可動電極駆動用固定電極 1 0 4、および信号伝達用固定電極 1 0 5 から構成される。可動電極側面は複数の可動電極側面凸部 1 0 7 を有している。本実施の形態 1 においては便宜上複数の凸部の形状は全て同じの形状としており、また凸部の配置は周期的に配置している。その結果、1 つの可動電極側面凸部と隣接する可動電極側面凸部の間には凹部が形成され、各凹部も周期的に配置されている。一方、可動電極駆動用固定電極凸部 1 0 8 は可動電極側面の凸部と凹部に対応するように配置され、所定の空間を介して可動電極側面の凹部に取り囲まれるように配置されるため、本実施の形態 1 においては可動電極駆動用固定電極凸部も周期的に配置される構成となる。さらに、可動電極駆動用固定電極の凹部に関しても、可動電極側面の凹部の場合と同様、隣接する凸部間で形成されるため、周期的に配置される。

## 【 0 0 6 2 】

本実施の形態 1 においては、便宜上、可動電極側面凸部 1 0 7 および可動電極駆動用固定電極凸部の凸部の長さは共に同じ寸法としている。可動電極側面凸部は可動電極駆動用固定電極凹部により可動電極凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して取り囲まれており、また可動電極駆動用固定電極の凸部は可動電極側面の凹部により可動電極駆動用固定電極の凸部の長さよりも短い距離からなる所定の空間を介して取り囲まれているため、図 1 に示すごとく可動電極側面凸部の一部は可動電極駆動用固定電極凹部の中に、可動電極駆動用固定電極凸部の一部は可動電極凹部の中に入り込むような形に配置される。

## 【 0 0 6 3 】

図 2 は本実施の形態 1 におけるスイッチの斜視図（図 1）の A - A' 断面で、スイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極への接続がなされていない状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板 2 0 1 上のシリコン酸化膜 2 0 2 を介して信号伝達用固定電極 2 0 5 を配置する。信号伝達用固定電極上には電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 2 1 0 が形成されており、さらに容量低減用

空間 2 0 9 を介して可動電極 2 0 3 が配置されている。可動電極 2 0 3 は両端の可動電極固定領域 2 0 6 において基板上に固定されている。

#### 【 0 0 6 4 】

図 3 は本実施の形態 1 におけるスイッチの斜視図（図 1）の B - B' 断面でスイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極への接続がなされていない状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板 3 0 1 上のシリコン酸化膜 3 0 2 を介して、可動電極駆動用固定電極 3 0 4、信号伝達用固定電極 3 0 5 を配置する。信号伝達用固定電極上には電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 3 1 0 が形成されており、さらに容量低減用空間 3 0 9 を介して可動電極 3 0 3 が配置されている。本実施の形態 1 においては、可動電極駆動用固定電極の凸部と容量低減用空間 3 0 9 を介した位置での可動電極 3 0 3 の基板表面からの高さが同じになるように設計している。

#### 【 0 0 6 5 】

図 4 は本実施の形態 1 におけるスイッチの斜視図（図 1）の A - A' 断面で、スイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極へ接続されている状態を示した断面図である。高抵抗シリコン基板 4 0 1 上のシリコン酸化膜 4 0 2 を介して配置された信号伝達用工程電極 4 0 5 と、可動電極 4 0 3 間に電圧を印可することで、静電力により、可動電極は信号伝達用固定電極上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 4 1 0 に接触し、容量低減用空間 4 0 9 は可動電極固定領域近傍に一部残るだけとなる。信号伝達用固定電極上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 4 1 0 は、信号伝達用固定電極と可動電極間に電圧を印可し、可動電極が固定電極に接触した場合においても、信号伝達用固定電極と可動電極が直接接触することで電位差が保てなくなり可動電極が離れてしまうことを防ぐことを目的とする。

#### 【 0 0 6 6 】

さらに、本実施の形態 1 におけるスイッチにおいて、信号伝達用固定電極と可動電極により形成される容量は（式 1）に従い、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜からなるコンデンサ容量（式 2）と容量低減用空間からなるコンデンサ容量（式 3）の直列接続容量となる。式 2 および式 3 において  $\epsilon s$  はシリコン酸化膜の

比誘電率、 $\epsilon_0$  は真空中の誘電率  $S$  は信号伝達用固定電極と可動電極により形成される電極の面積、 $t$  は電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の厚さ、 $d$  は容量低減用空間 209 の長さである。また、 $t$  は一般的に  $d$  の  $1/10$  以下の値である。さらに、式 3 は正確には真空中のコンデンサ容量であるが大気中においてもほぼ同等である。可動電極が信号伝達用固定電極に接触した場合、容量低減用空間からなるコンデンサ容量は無視できる値となり、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜からなるコンデンサ容量のみと考えると問題はない。一方、可動電極が信号伝達用固定電極から所定の容量低減用空間を保った位置にある場合、コンデンサ容量は容量低減用空間からなるコンデンサ容量が支配的となる。

【0067】

【式 1】

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_{OX}} + \frac{1}{C_{Air}}$$

【0068】

【式 2】

$$C_{ox} = \epsilon_s \epsilon_0 \frac{S}{t}$$

【0069】

【式 3】

$$C_{Air} = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

【0070】

図 5 は本実施の形態 1 におけるスイッチの斜視図（図 1）の B-B' 断面でスイッチにおいて信号が信号伝達用固定電極から可動電極へ接続されている状態を示した断面図である。

【0071】

高抵抗シリコン基板 5 0 1 上のシリコン酸化膜 5 0 2 を介して配置された信号伝達用工程電極 5 0 5 と、可動電極 5 0 3 間に電圧を印可することで、静電力により、可動電極は信号伝達用固定電極上の電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 5 1 0 に接触し、可動電極駆動用固定電極と可動電極間には所定の容量低減用空間分の距離が増加する。

## 【 0 0 7 2 】

信号伝達用固定電極から可動電極へ接続された状態から切断状態への動作は、信号伝達用固定電極と可動電極間に印可した電圧を 0 とし、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可することで、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に生じた所定の容量低減用空間分の距離を 0 とするように静電力が働く。その結果、可動電極のたわみが戻ろうとするバネの力だけでなく、静電力の両方の力により可動電極を動かすことで、短時間で信号伝達用固定電極から離れることが可能となり切断動作特性を向上できるという効果が得られる。

## 【 0 0 7 3 】

例えば、可動電極の幅を  $5\ \mu\text{m}$ 、長さを  $400\ \mu\text{m}$ 、厚みを  $0.7\ \mu\text{m}$  とし、可動電極と信号伝達用固定電極とのギャップを  $0.6\ \mu\text{m}$  とした場合の応答特性を図 2 0 に示す。図 2 0 には、可動電極と信号伝達用固定電極が接触した状態から、時刻 0 で静電力を切り、固定電極が元の位置の復元する様子を示している。参考のために同じ可動電極の形状で、櫛歯がない場合も併せて示す。また図 2 1 に櫛歯の形状を示す拡大図を示す。櫛歯の形状は、櫛の幅  $a$  を  $1\ \mu\text{m}$ 、櫛の高さ  $h$  を  $5\ \mu\text{m}$ 、櫛と櫛の間隔を  $1\ \mu\text{m}$  としている。櫛歯構造がない場合は、可動電極は、自身が有するばね力のみで、もとの位置に復元するため、必然的に応答時間が遅くなる特性であるのに対して、櫛歯構造では、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印加すれば、可動電極に元の位置に復元する静電力が重畳されるため、より高速な応答が可能となる。

## 【 0 0 7 4 】

なお、本実施の形態 1 においては高抵抗シリコン基板上にシリコン酸化膜を介してスイッチの各部品を配置したが、その他の絶縁材料例えばシリコン窒化膜を用いてもよい。また、高抵抗シリコン基板を用いたが、シリコン以外の材料例え

ばガリウム砒素基板等化合物半導体基板においても、さらに石英、アルミナ等絶縁性基板を用いた場合においても同様の効果が得られる。さらに、基板の抵抗が十分に高く、基板を通して可動電極、信号伝達用固定電極、可動電極駆動用固定電極間の電氣的に影響が及ばない場合、シリコン酸化膜もしくは同等の絶縁材料の配置は省略することが可能である。

【 0 0 7 5 】

また、本発明の実施の形態 1 において可動電極側面に形成された凸部および凹部と、可動電極側面の凸部と凹部に対応した、可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部は図 1 では矩形にしているが、角の部分は曲率を有する形状でも同様の効果が得られる。

【 0 0 7 6 】

(実施の形態 2)

以下本発明の実施の形態 2 について式と図面を用いて説明する。

【 0 0 7 7 】

凸部と凹部を組み合わせた形の電極間に働く力は、例えばアイトリプルイー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス 2 0 0 2 年予稿集 5 3 2 ページ(MEMS 2002 Tech. Dig., p532, 2002)が知られており、変位  $z$  の場合、 $z$  方向に働く力は(式 4)で与えられる。

【 0 0 7 8 】

【式 4】

$$F_z = - \frac{\partial \left( \frac{CV^2}{2} \right)}{\partial z}$$

【 0 0 7 9 】

式 4 において、 $V$  : 電極への印可電圧、 $C$  : 電極間で形成されるキャパシタンス容量、 $z$  : 変位で与えられる。式 4 より、 $z$  方向の変位が変化した場合においても電極間で形成される容量が変化しない場合は静電力が発生しないことがわかる。従って図 6 に示すごとく例えば可動電極駆動用固定電極の膜厚が可動電極より

厚い場合、可動電極駆動用固定電極 6 0 1 と、可動電極 6 0 2 により形成されるキャパシタンス形成領域 6 0 3 は、可動電極が  $z$  方向に多少動いても面積が変化することがないため、 $z$  方向の力は発生せず、可動電極駆動用固定電極の膜厚の範囲内では静電力による駆動ができない。

## 【 0 0 8 0 】

可動電極の膜厚を  $t_m$ 、可動電極駆動用固定電極の膜厚を  $t_d$ 、両者の関係を  $t_d > t_m$  とした場合、 $l_u = t_d - t_m$  なる制御不可能位置  $l_u$  が存在する。

## 【 0 0 8 1 】

一方、可動電極駆動用固定電極の膜厚と可動電極の膜厚を同一にした場合、制御不可能位置は存在せず、可動電極駆動用固定電極と可動電極間に電圧を印可し、静電力を加えることで可動電極は常に一定の位置に制御することが可能となる。

## 【 0 0 8 2 】

## (実施の形態 3)

以下、本実施の形態 3 について図面を用いて説明する。図 7 a) に示すごとく、設計上、可動電極側面の凸部と両側に位置する可動電極駆動用固定電極の凹部間の所定空間は、距離が  $d$  の均等な所定の空間 1 0 0 3 を介している。しかしながら、可動電極と、可動電極駆動用固定電極を異なるマスクで形成した場合、可動電極形成用のマスクと可動電極駆動用固定電極形成用のマスクとのマスク合わせずれが発生した場合は図 7 b) のように、可動電極側面の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部の片側の空間は距離が近づき  $d - e$  となり（距離が小さい所定空間 1 0 1 3）、反対側に位置する凹部との距離は大きく  $d + e$  となってしまう（距離が大きい所定空間 1 0 1 4）。つまり、図 7 b) は、マスク合わせが図面上方向に距離  $e$  だけ発生した場合の、可動電極側面の凸部と可動電極駆動用固定電極の凹部の関係を示しており、このようなマスクずれが発生した場合、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可し、静電力を発生させた場合、図面上下方向に静電引力が働くことが知られており、静電引力の大きさは例えばアイトリプリー、マイクロ・エレクトロ・メカニカル・システムズ・コンファレンス 1 9 9 6 年予稿集 2 1 6 ページ (MEMS 1996 Tech. Dig., p.216, 1996) に述べ

られており、式 5 に示す大きさの可動電極への引力 1 0 1 2、可動電極駆動用固定電極への引力 1 0 1 5 が働いてしまう。前記静電力が発生し、可動電極のバネ定数から求められる力を越えてしまった場合、可動電極とか銅電極駆動用固定電極間で接触し、可動電極の動きを阻害するだけではなく破壊を起こすという問題が発生するが、本実施例を適用し、同一マスクで可動電極とか銅電極駆動用固定電極を形成することでマスク合わせずれを 0 にする事が可能となる。

【 0 0 8 3 】

【式 5】

$$F(x) = -\frac{V^2}{2} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{n}{2} h l \epsilon_0 \left\{ \frac{1}{(d-e-x)^2} - \frac{1}{(d+e+x)^2} \right\} V^2$$

C: 可動電極駆動用固定電極と可動電極により形成されるキャパシタンス容量

x: マスク合わせずれが発生した位置から距離 x 動いた点に発生する力

V: 可動電極駆動用固定電極と可動電極間の印可電圧

n: 可動電極の凸部の数

h: 可動電極と可動電極駆動用固定電極の膜厚で薄い方の膜厚

l: 可動電極と可動電極駆動用固定電極両方の凸部のオーバーラップ長さ

$\epsilon_0$ : 大気中の誘電率

d: 可動電極駆動用固定電極と可動電極各々の凸部と隣接する凹部との所定空間の設計値

e: マスク合わせずれ量

【 0 0 8 4 】

(実施の形態 4)

以下本発明の実施の形態 4 について図面を用いて具体的に説明する。

【 0 0 8 5 】

図 8 は本発明を用いてスイッチを形成した場合の工程断面図である。図 8 (a) において、高抵抗シリコン基板 9 0 1 上に前記シリコン酸化膜を熱酸化することで、シリコン酸化膜 9 0 2 を形成する。その後、シリコン酸化膜上に金属を形成し、さらにシリコン酸化膜を形成する。しかる後フォトリソグラフィにより、所定の領域のみレジストが残るようにフォトレジストパターンを形成しフォトレジストをマスクとして金属上のシリコン酸化膜をドライエッチングし、続いて金属をエッチングすることで、信号伝達用固定電極 9 0 3 および電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 9 0 4 が形成される。さらにレジストマスクを除去後、可動電極、可動電極側面の凸部ならび凹部、可動電極駆動用固定電極の凹部ならび凸部



、可動電極駆動用固定電極の凹部ならび凸部に隣接する一部が形成される領域に犠牲層が残るように犠牲層を堆積、パターニングし、犠牲層 9 0 5 を形成する。その後図 8 (b) に示すごとく全面に金属 9 0 6 を形成した後、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスク 9 0 7 を形成する。

## 【 0 0 8 6 】

しかる後、図 8 (c) のようにレジストマスク 9 0 7 をマスクとして金属をエッチングし、可動電極 9 0 8 ならび可動電極駆動用固定電極 9 0 9 を形成する。さらにレジストマスク 9 0 7 を除去後、犠牲層 9 0 5 を除去することで容量低減用空間 9 1 0 が形成される。

## 【 0 0 8 7 】

なお、本実施の形態において信号伝達用固定電極、可動電極および可動電極駆動用固定電極の材料として金属を用いたが、高濃度不純物導入された半導体、導電性高分子材料などを用いても良い。

## 【 0 0 8 8 】

また、高抵抗シリコン基板 9 0 1 上に絶縁膜としてシリコン酸化膜を用いたが基板に関しても本実施の形態 1 と同様、他の絶縁材料でもよい、同様にガリウム砒素基板等他の基板材料の利用も可能であり、さらに基板の抵抗が十分高い場合シリコン酸化膜を除去して良いことは言うまでもない。

## 【 0 0 8 9 】

## (実施の形態 5)

以下本発明の実施の形態 5 について図面を用いて説明する。

## 【 0 0 9 0 】

図 1 0 (a) は段差緩和用のパターンを形成しなかった場合のスイッチの製造工程断面図を示しており、実施の形態 4 の場合と同様の工程で電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 1 2 0 4 までを形成後、ポリイミドからなる犠牲層 1 2 0 5 を形成している。本実施の形態では実施の形態 4 の場合と異なり犠牲層が容易除去にできるように犠牲層の幅を短くした設計としている。しかる後、図 1 0 (b) に示すごとく全面に AL 膜 1 2 0 6 をスパッタリング法により形成する。スパッタリ

ング法による金属膜の成膜では、比較的低温のプロセスにおいても安定した膜の形成が可能であるが、段差部側面には堆積しにくいという特性を有している。蒸着法も同様、段差部側面には堆積しにくい。一方、減圧雰囲気下のCVD法を用いた場合、段差部側面にも成膜することが可能であるがプロセス温度が高く利用範囲に限られる。従って、前記AL膜には段差部分に膜厚が薄い薄膜領域1207が形成される。しかる後、図10(c)に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極1208ならび可動電極駆動用固定電極1209を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層を除去することで容量低減用空間1210が形成される。一方、犠牲層の段差部分の薄膜領域はそのまま可動電極駆動用固定電極の強度不足領域1211となる。

#### 【0091】

図9は段差緩和用のパターンを形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものであり、図9(a)は実施の形態4の場合と同様の工程で電極間絶縁保持用シリコン酸化膜1104までを形成したものである。次に図9(b)に示すごとく、フォトリソをスピンコート、露光、現像し、ホットプレートでバークすることで段差緩和用パターン1105を所定の位置に形成する。段差緩和用パターンの配置の位置は、以降の工程で形成される、可動電極駆動用固定電極が形成され、かつ犠牲層により形成される段差を分割できるような位置と膜厚で形成するものとする。引き続き図9(c)に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層1106を形成する。犠牲層端面1107下は前記段差緩和用パターンがあるため、段差緩和用パターンがない場合、犠牲層表面からシリコン酸化膜1102表面までの距離の段差が犠牲層端面に形成されるのに対して、段差緩和用パターンにより犠牲層表面からの段差は犠牲層表面から段差緩和用パターン表面までの段差と、段差緩和用パターン表面からシリコン酸化膜表面までの段差に2分割され、一カ所で大きな段差が形成されることを防ぐことが可能となる。しかる後に、図9(d)に示すごとく、全面にAL膜1108をスパッタリング法により形成する。さらに、図9(e)に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可

動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極1109ならび可動電極駆動用固定電極1110を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層および段差緩和用パターンを除去することで容量低減用空間1111が形成される。容量低減用空間のための犠牲層の段差は、犠牲層と段差緩和用パターンの両方で緩和されるため、可動電極駆動用固定電極1110において極端に膜が薄い強度不足領域は形成されない。

## 【0092】

酸素プラズマ処理を用いた工程では、溶媒中のウェットエッチングとは異なり、減圧雰囲気下で処理することが可能である。液体中の処理における吸着に関しては例えばジャーナル・オブ・バキューム・サイエンス・テクノロジー、B15巻1号1ページ、1997年(J. Vac. Sci. Technol., Vol. B, p. 1, 1997)に記されており、表面張力等の影響で乾燥工程中に意図しない部分が吸着することが知られている。従って、レジストからなる犠牲層を用いることで犠牲層除去後の工程に液体中の処理を行う必要がなくなり可動電極と信号伝達用固定電極の吸着を防ぐことを可能とする。

## 【0093】

なお、本実施の形態において段差緩和用パターンはフォトリジストを用いたが、ポリイミドを用いても問題ない。さらに、本実施の形態において犠牲層除去工程により除去される材料としたが、犠牲層除去工程で除去されない材料の場合、可動電極駆動用工程電極の強度はよりいっそう強くなる。

## 【0094】

(実施の形態6)

以下本発明の実施の形態6について図面を用いて具体的に説明する。

## 【0095】

図11は段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の短辺方向側面の位置に形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものであり、スイッチの図1におけるA-A'断面図を示したものである。図11(a)は実施の形態4の場合と同様の工程で電極間絶縁保持用シリコン酸化膜1304までを形成したもので

ある。

#### 【0096】

次に図11(b)に示すごとく、信号伝達用固定電極の短辺方向側面の位置に感光性のポリイミドをスピンコート、露光、現像し、ホットプレートでバークすることで段差緩和用パターン1305を形成する。段差緩和用パターンの配置の位置は、以降の工程で形成される、可動電極が形成され、かつ犠牲層により形成される段差を分割できるような位置と膜厚で形成するものとする。引き続き図11(c)に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層1306を形成する。犠牲層端面1307下は前記段差緩和用パターンがあるため、犠牲層表面からの段差は複数の段差に分割され、一カ所で大きな段差が形成されることを防ぐことが可能となる。しかる後に、図11(d)に示すごとく、全面にAL膜1108をスパッタリング法により形成するが、実施の形態5の場合と同様、比較的低温で成膜可能であるが、段差部側面には堆積しにくいという特性を有している。蒸着法も同様の特徴を有する。

#### 【0097】

さらに、図11(e)に示すごとく、実施の形態4の場合と同様の工程で、可動電極を配置する所定の場所にレジストマスクを形成し、前記レジストマスクをマスクとしてALをエッチングし、可動電極1309を形成する。さらにレジストマスクと犠牲層および段差緩和用パターンを除去することで容量低減用空間1310が形成される。容量低減用空間のための犠牲層の段差は、犠牲層と段差緩和用パターンの両方で緩和されるため、可動電極1309において極端に膜が薄い強度不足領域は形成されず、安定した動作を可能にする。なお本実施の形態では段差緩和用パターンをポリイミドにより形成したが、実施の形態5の場合と同様、犠牲層除去工程後に残っていても問題はない。

#### 【0098】

図12は段差緩和用のパターンを信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に形成した場合のスイッチの製造工程断面図を示すものであり、スイッチの図1におけるB-B'断面図を示したものである。

#### 【0099】

図 1 2 ( a ) は実施の形態 4 の場合と同様の工程で電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 1 3 0 4 までを形成したものである。

【 0 1 0 0 】

次に図 1 2 ( b ) に示すごとく、フォトレジストをスピコート、露光、現像し、ホットプレートでベークすることで段差緩和用パターン 1 4 0 5 を信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に形成する。段差緩和用パターンは、以降の工程で形成される、可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部が形成される部分の下部に相当する位置に、信号伝達用固定電極の膜厚と電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の膜厚を足し合わせた膜厚、言い換えると段差緩和用パターンと電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の表面の基板表面からの高さが同じになる膜厚で形成するものとする。

【 0 1 0 1 】

引き続き図 1 2 ( c ) に示すごとく、ポリイミドからなる犠牲層 1 4 0 6 を形成する。信号伝達用固定電極の膜厚と電極間絶縁保持用シリコン酸化膜の膜厚を足し合わせた膜厚で段差緩和用パターンを形成したことにより、犠牲層の表面は信号伝達用固定電極から段差緩和用パターンのほぼ端面にわたり基板表面からの高さが一定となる。

【 0 1 0 2 】

しかる後に、図 1 2 ( d ) に示すごとく、全面に A L 膜 1 4 0 7 をスパッタリング法により形成する。さらに、実施の形態 4 の場合と同様の工程で、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にフォトレジストからなる可動電極形成用マスク 1 4 0 8 および可動電極駆動用固定電極形成用マスク 1 4 0 9 を形成する。可動電極駆動用固定電極形成用マスクの一部は、段差緩和用パターンの上部に位置し、可動電極駆動用固定電極の凸部および凹部の形成領域 1 4 1 0 となっており、段差緩和用パターンにより可動電極マスク表面と同一の高さとなっている。図 1 2 ( d ) においては可動電極側面に形成された凸部と凹部は記されていないが、可動電極駆動用固定電極により形成される凸部および凹部と同じ位置である。その結果、可動電極駆動用固定電極の凸部および凹部および可動電極側面に形成される凸部と凹部の形成領域は同じ高さとなる。その結果、露

光機の焦点深度の問題で、異なる高さの部分では形成できないような微細なパターンの形成も同じ高さの部分へのパターン形成となり、より微細なパターン形成が可能となる。引き続き、図 1 2 (e) に示すごとく、レジストマスクをマスクとして AL をエッチングし、可動電極 1 4 1 1 ならび可動電極駆動用固定電極 1 4 1 2 を形成する。しかる後レジストマスクと犠牲層および段差緩和用パターンを除去することで容量低減用空間 1 4 1 3 が形成される。このように、本実施の形態を適用することで、可動電極側面の凸部と凹部および可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部に関して、より微細なパターンの形成が可能となる。

## 【 0 1 0 3 】

## (実施の形態 7)

以下本発明の実施の形態 7 について図面を用いて具体的に説明する。

## 【 0 1 0 4 】

図 1 3 は犠牲層除去用の穴を可動電極に形成した場合のスイッチを示す斜視図である。可動電極 1 5 0 3 上に複数の犠牲層除去用穴 1 5 0 8 を形成している。前記犠牲層除去用穴がない場合、犠牲層除去は可動電極側面の凸部および凹部と可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部からなる空間ならび、可動電極駆動用固定電極両端部 1 5 0 9 の部分からのみ除去可能である。実際のスイッチでは低電圧で高速に接続・切断の動作を行うためには、犠牲層除去は可動電極側面の凸部および凹部と可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部からなる空間は  $1\ \mu\text{m}$  以下、可動電極駆動用固定電極両端部 1 5 0 9 の犠牲層の空間に関しても  $1\ \mu\text{m}$  以下に設計する必要がある。さらに可動電極の長さは約  $400\ \mu\text{m}$  程度となる。このような狭い領域の犠牲層除去を、可動電極側面の凸部および凹部と可動電極駆動用固定電極の凹部と凸部からなる空間および可動電極駆動用固定電極両端部からのみ行う場合、犠牲層除去工程の時間がかかるだけでなく、完全に犠牲層が除去できないという問題が発生するが、可動電極上に犠牲層除去用穴 1 5 0 8 を形成することで、犠牲層除去が容易にできるようになる。とりわけ本発明においては可動電極側面に可動電極駆動用固定電極を配置しているため、可動電極側面には犠牲層除去の障害となるものが何もない従来例、アイトリプルイー、2001 年インターナショナル・エレクトロン・デバイス・ミーティング予稿集 9 2 1 ページ記

載の犠牲層除去工程とは異なり、犠牲層除去用穴を設けない場合、より犠牲層除去が困難である。また、前記犠牲層除去用の穴は  $1\ \mu\text{m}$  程度でも十分効果がある。この穴の寸法は可動電極に流す信号に影響を及ぼさない大きさに設計するのが望ましい。

## 【0105】

さらに、犠牲層除去用穴 1508 は犠牲層除去後も本スイッチを大気中で動作させる場合、可動電極が信号伝達用固定電極へ接触する課程においては、可動電極下の空間内の気体の逃げ道となり、また、接触している可動電極が信号伝達用固定電極から離れる場合には気体の入り口となり、気体の粘性により可動電極の動きが阻害されることを防ぐ事が可能となる。

## 【0106】

## (実施の形態 8)

以下本発明の実施の形態 8 について図面を用いて具体的に説明する。

## 【0107】

図 14 は犠牲層除去用の穴を可動電極駆動用固定電極に形成した場合のスイッチを示す工程断面図である。本発明の実施の形態 4 と同様の工程で高抵抗シリコン基板 1601 上のシリコン酸化膜 1602、信号伝達用固定電極 1603、電極間絶縁保持用シリコン酸化膜 1604、犠牲層 1605 を形成した後、図 14 (a) に示すごとく、基板全面に金属 1606 を形成した後、可動電極ならび可動電極駆動用固定電極を配置する所定の場所にレジストマスク 1607 を形成する。レジストマスク 1607 には可動電極駆動用固定電極が形成される所定の領域に犠牲層除去用穴形成のための犠牲層除去穴形成パターン 1608 を設けている。しかる後、前記レジストマスクをマスクとして金属をエッチングし、可動電極 1609 ならび可動電極駆動用固定電極 1610 を形成する。図 14 (b) のように、さらにレジストマスクを除去後、犠牲層を除去することで容量低減用空間 1611 が形成されるが、犠牲層は犠牲層除去穴 1612 から除去されるため、犠牲層が残ることなく容易に除去可能となる。

## 【0108】

## (実施の形態 9)

以下本発明の実施の形態 9 について図面を用いて具体的に説明する。

【0109】

図 15 は可動電極 1702 が信号伝達用固定電極 1703 に絶縁保持用酸化膜 1704 を介して接触した場合の、可動電極 1702 と可動電極駆動用固定電極 1701 の位置を模式的に示した図である。可動電極 1702 は信号伝達用固定電極に接触した状態においても本図面で示す  $z$  方向の垂直方向に重なった部分を有することで平行平板のキャパシタンス形成領域 1705 を形成している。平行平板のキャパシタンス形成領域において、可動電極駆動用固定電極 1701 と可動電極間 1702 に電圧を印可した場合の静電力は、本発明の実施の形態 2 の場合と同様式 4 により求められる。しかしながら、平行平板のキャパシタンスが形成されない場合、式 4 からなる力は発生せず可動電極 1702 を駆動する力は非常に小さくなってしまう。このように、可動電極が信号伝達用固定電極に接触した状態においても、可動電極側面に形成された複数の凸部と凹部と、可動電極駆動用固定電極に形成された凹部と凸部は垂直方向に重なった部分を有する構造とすることで、大きな静電力を発生することが可能となる。

【0110】

(実施の形態 10)

以下本発明の実施の形態 10 について図面を用いて具体的に説明する。

【0111】

図 16 は可動電極が信号伝達用固定電極へ接触した場合、可動電極が長手方向に  $g$  だけずれた場合の可動電極 1802 および可動電極駆動用固定電極 1801 の位置を模式的に示した図である。可動電極がずれたため本来の可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間  $d$  に対して、 $d - g$  だけ狭くなっている。この状態で、可動電極 1802 と可動電極用駆動電極に働く力は、実施の形態 3 の場合と同様の考え方が適用でき、可動電極および可動電極駆動用固定電極間に  $V$  の電圧を印可した場合の距離  $x$  移動した点での、両電極の基板平面方向に働く力は (式 6) に従う力が働く。

【0112】



【式 6】

$$F(x) = -\frac{V^2}{2} \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{n}{2} h l \epsilon_0 \left\{ \frac{1}{(d-g-x)^2} - \frac{1}{(d+g+x)^2} \right\} V^2$$

【0113】

可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可し続けた場合、実施の形態 3 の場合と同様、可動電極の動きを阻害するだけではなく破壊を起こすという問題が発生するが、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に電圧を印可する時間を、可動電極側面に形成された凸部と可動電極駆動用固定電極に形成した凹部とで形成される所定の空間と可動電極駆動用固定電極の凸部と可動電極側面の凹部とで形成される所定の空間の中でもっとも短い距離、本実施例においては  $d-g$  の距離の移動に必要な時間以下とすることで、可動電極が可動電極の長手方向にずれた状態で信号伝達用固定電極に接触した場合においても電極の吸着による動作の阻害、破壊を防ぐことが可能となる。

【0114】

(実施の形態 11)

以下本発明の実施の形態 11 について図面を用いて具体的に説明する。

【0115】

図 17 (a) は本発明を適用した場合の、図 17 (b) は適用しなかった場合のスイッチの接続切断の様子を示す。図 17 (a) に示すごとく本発明を適用した場合、信号伝達用固定電極に大きな信号が入力した場合においても可動電極は切断したままの状態である。一方適用しなかった場合、図 17 (b) に示すごとく可動電極と可動電極駆動用固定電極間への電圧の印可は可動電極と信号伝達用固定電極間の印可電圧を与えた状態から与えない状態へと変化させた時のみパルス的に与え、以降可動電極と可動電極駆動用固定電極間へは電圧を印可しなくても可動電極は切断状態を保ったままである。しかしながら、信号伝達用固定電極に流れる信号がある一定以上の電圧になった場合、可動電極と信号伝達用固定電極間に信号に起因する静電引力が働き、可動電極が接続状態となる誤動作を起こしてしまう。このように、本発明を適用することで、信号伝達用固定電極を通過

する信号により可動電極が信号伝達用固定電極と接触することを防ぐことが可能となる。

#### 【 0 1 1 6 】

(実施の形態 1 2)

以下本発明の実施の形態 1 2 について図面を用いて具体的に説明する。

#### 【 0 1 1 7 】

図 1 8 は入出力スイッチに、本発明をスイッチを適用した場合の回路の例である。アンテナと入力側増幅器と出力側増幅器の切り替えを行うために、各増幅器の出力間に直列ならび対接地に 2 つのスイッチを形成したものである。各々 1 つのスイッチを配置することで、2 0 0 1 出力側増幅器接続点と 2 0 0 7 アンテナ間の接続時は、2 0 0 3 出力側直列接続スイッチが接続状態となり同時に 2 0 0 4 出力側対接地接続スイッチが切断状態となることで、出力側増幅器とアンテナ間が接続され、さらに 2 0 0 2 入力側増幅器接続点とアンテナ間は 2 0 0 5 入力側直列接続スイッチが切断状態となり、さらに 2 0 0 6 入力側対接地スイッチが接続状態となることで、より完全な切断状態が達成される。一方、入力側増幅器接続点とアンテナ間の接続時は、入力側直列接続スイッチが接続状態となり、さらに入力側対接地スイッチが切断状態となることで、入力側増幅器とアンテナ間が接続され、出力側増幅器接続点とアンテナ間は出力側直列接続スイッチが切断状態となり同時に出力側対接地接続スイッチが接続状態となることで、より完全な切断状態が達成される。本発明を前記回路に適用する場合、入力側出力側共に直列接続スイッチの信号伝達用固定電極がアンテナ側に接続され、対接地スイッチの可動電極と接地側を接続することで、可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量により発生する損失および切断不良を最小限に抑えることが可能となる。

#### 【 0 1 1 8 】

図 1 9 は本発明の実施の形態 1 2 をスイッチに適用した斜視図である。図 1 9 は入力側もしくは出力側となる片側のみの記載である。2 1 0 1 直列接続スイッチの信号伝達用固定電極がアンテナと接続され、可動電極は対接地スイッチの信号伝達用固定電極および増幅器へと接続されている。一方、対接地スイッチの可

動電極は接地側へと接続されている。

#### 【0119】

増幅器とアンテナ間を接続する場合、直列接続スイッチの可動電極、信号伝達用固定電極間は接続状態に、対接地スイッチの可動電極、信号伝達用固定電極間は切断状態となる。この状態では、対接スイッチの可動電極と可動電極駆動用固定電極間の寄生容量の増加のみ信号の損失に関与する。一方、増幅器とアンテナ間を切断する場合、直列接続スイッチの可動電極、信号伝達用固定電極間は切断状態に、対接地スイッチの可動電極、信号伝達用固定電極間は接続状態となり、信号の損失や切断不良に寄与する寄生容量の増加は発生しない。このように、本実施例を適用することで寄生容量の増加が発生する部分が1カ所だけとなり損失および切断不良を最低限に抑えることが可能となる。

#### 【0120】

##### (実施の形態13)

以下本発明の実施の形態13について図面を用いて具体的に説明する。

#### 【0121】

一般的に、本発明のようなメカニカルなスイッチを構成する場合、梁構造を導電性材料、基板をシリコンなどの半導体材料で形成する場合が多い。このため、従来の課題で示したように、動作環境が変動し、温度変化が生じた場合、梁材料と基板材料の熱膨張係数の差から、応力が変化する。この応力変化を式6に示す。 $S'_{11}$ 、 $S'_{12}$ は、それぞれ結晶方向に対するコンプライアンスを示し、 $\Delta\alpha$ は熱膨張係数の差、 $\Delta t$ は温度変化を示す。

#### 【0122】

いま、梁をアルミニウム、基板をシリコンとすると、それぞれ熱膨張係数は $24 \times 10^{-6} [1/K]$ 、 $3.0 \times 10^{-6} [1/K]$ となるため、温度差 $100^\circ\text{C}$ が生じた場合、応力変化は238MPaにもなる。

#### 【0123】

次に、図22に梁の内部応力と応答時間の関係を示す。ここでは、梁の幅を $5 \mu\text{m}$ 、長さ $400 \mu\text{m}$ 、梁の厚みを $0.7 \mu\text{m}$ の場合を示している。

#### 【0124】

梁の内部応力が変化すれば、梁のばね定数が変化するが、静電力に対して、ばね力が十分小さい範囲では、静電力が支配的になるため、応答時間には影響がでてこない。ただし、従来の例で示したように、内部応力が変化し、残留応力が 0 付近になると、重力の影響が無視できなくなり、梁が撓む。このとき従来のような、信号線の電極と可動電極のみで構成される構造では、最大撓み分を考慮して、可動電極と固定電極のギャップを設計をする必要がある。このため、内部応力が 0 となる温度でも、所望のギャップが得られるように、梁と電極間の距離を十分に離す必要がある。そのため、ある温度では必要以上のギャップがあるため、必然的に応答時間が遅くなる。

## 【 0 1 2 5 】

このため本実施の形態では、例えば、図 3 に示す状態において、温度が変化しても、ギャップが減少しないように、可動電極と可動電極駆動用固定電極間に静電力を印加しておけば、温度が変化しても、常に可動電極は可動電極駆動用電極に引っ張り上げられている。いわゆる温度補償機能を有することになる。

## 【 0 1 2 6 】

## (実施の形態 1 4)

以下本発明の実施の形態 1 4 について図面を用いて具体的に説明する。

## 【 0 1 2 7 】

実施の形態 1 から 1 3 までは、信号伝達用固定電極に信号を入力する構成をとっているが、これは図 1 5 に示したように、可動電極が信号伝達用固定電極と接触した状態において、可動電極駆動用固定電極との間に、キャパシタンス容量形成領域が生じるためである。つまり仮に可動電極に信号を入力して、固定電極に信号を伝達する構成をとった場合、可動電極と固定電極が接触している状態においても、可動電極が可動電極駆動用電極とも結合するので、信号の損失が発生する。しかしながら、レイアウトの自由度を高めるためには、可動電極側に信号を入力する構成をとる必要がある。そのような場合は、図 2 3 に示すように、櫛歯電極の幅  $a$  を狭くし、線路からみて櫛歯のインピーダンスを高くすることで、櫛歯電極側に高周波信号が進行しないようにする。可動電極と可動電極駆動用電極間に静電力を発生させるためには、直流電位を印加するため、櫛歯には電位が印

加されるが、櫛歯領域は、インピーダンスが高くなっているため、高周波信号が櫛歯には入っていない構成となっている。このため、可動電極と可動電極駆動用電極が櫛歯部を介して、高周波信号が結合することはない。

## 【 0 1 2 8 】

例えば櫛歯の幅を  $10\ \mu\text{m}$ 、長さを  $20\ \mu\text{m}$ 、櫛歯間のギャップを  $0.6\ \mu\text{m}$  とした図(a)の場合、櫛歯の形状を同じであるが、櫛歯の根元に幅  $0.5\ \mu\text{m}$  のステップ的なインピーダンスとなるような線路構造を持たせた図(b)の場合において、櫛歯間に高周波信号が結合するため、損失が変化する。(a)の状態と(b)の状態では、以上損失が変化することになる。仮に櫛歯の数を200個とした場合、0.1 dB程度の差が生じる。当然櫛歯の数が多いほど、この効果は有用となってくる。

## 【 0 1 2 9 】

また同様な理由として、図24に示すような構成も高周波信号の櫛歯間での結合を防ぐ目的で有用となる。

## 【 0 1 3 0 】

当然、ステップ的な構造でなく、櫛歯の幅を小さくすることでインピーダンスを高める方法でもよい。また、櫛歯の部分だけ、抵抗成分が高い材質で構成することで、高周波信号の結合を防いでもよい。

## 【 0 1 3 1 】

## 【発明の効果】

以上のように本発明によれば、可動電極の下方向への駆動は可動電極の下部に位置する信号伝達用固定電極と可動電極の静電力により、一方、可動電極の上方向への駆動は可動電極の長辺方向の両側面に位置する可動電極駆動用固定電極との静電引力により駆動することで、信号の伝達効率および絶縁性を確保しかつ信号の接続切断の高速な動作を行うことができるという効果を有する。さらに、可動電極の側面に可動電極駆動用固定電極を配置することが可能となり、複雑な工程の追加が不要であるという有利な効果が得られる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図1】

本発明の一実施の形態によるスイッチを現す斜視図

【図 2】

本発明の一実施の形態によるスイッチの斜視図（図 1）の A - A' 断面を表す断面図

【図 3】

本発明の一実施の形態によるスイッチの斜視図（図 1）の B - B' 断面を表す断面図

【図 4】

本発明の一実施の形態によるスイッチを斜視図（図 1）の A - A' 断面においてスイッチの接続状態を表す断面図

【図 5】

本発明の一実施の形態によるスイッチの斜視図（図 1）の B - B' 断面においてスイッチの接続状態を表す断面図

【図 6】

本発明を一実施の形態を適用しなかった場合に、電極間で形成されるキャパシタンスを示す模式図

【図 7】

（a）本発明の一実施の形態を用いスイッチを形成した場合の、可動電極と可動電極駆動用固定電極の位置を示す模式図

（b）本発明を一実施の形態を適用せず、スイッチを形成した場合の、可動電極と可動電極駆動用固定電極の位置および静電力を示す模式図

【図 8】

本発明の一実施の形態によるスイッチを形成した場合の、工程断面図

【図 9】

本発明の一実施の形態による段差緩和用パターンを可動電極駆動用固定電極の下部の所定の位置に適用しスイッチを形成した場合の工程断面図

【図 10】

本発明の一実施の形態による段差緩和用パターンを適用せず、スイッチを形成した場合の工程断面図

【図 1 1】

本発明の一実施の形態による段差緩和用パターンを信号伝達用固定電極の短辺方向側面の位置に適用しスイッチを形成した場合の工程断面図

【図 1 2】

本発明の一実施の形態による段差緩和用パターンを信号伝達用固定電極の長辺方向側面の位置に適用しスイッチを形成した場合の工程断面図

【図 1 3】

本発明の一実施の形態による犠牲層除去用の穴を可動電極に形成した場合のスイッチを現す斜視図

【図 1 4】

本発明の一実施の形態による犠牲層除去用の穴を可動電極駆動用固定電極に形成した場合のスイッチを現す工程断面図

【図 1 5】

本発明の一実施の形態によりスイッチを形成した場合の、可動電極と可動電極駆動用固定電極、信号伝達用固定電極および絶縁保持用酸化膜の位置を示す模式図

【図 1 6】

本発明の一実施の形態が必要となる、可動電極と可動電極駆動用固体電極の位置と両電極間に働く力を示す模式図

【図 1 7】

(a) 本発明の一実施の形態を用いスイッチを形成した場合の、時間軸に対して可動電極と可動電極駆動用固定電極間の印可電圧、可動電極と信号伝達用固定電極間の印可電圧、信号伝達用固定電極に流れる信号、可動電極の接続切断状態を示す図

(b) 本発明の一実施の形態を適用せずスイッチを形成した場合の、時間軸に対して可動電極と可動電極駆動用固定電極間の印可電圧、可動電極と信号伝達用固定電極間の印可電圧、信号伝達用固定電極に流れる信号、可動電極の接続切断状態を示す図

【図 1 8】

本発明の一実施例を適用する回路の例を示す図

【図 1 9】

本発明の一実施例を回路に適用した場合のスイッチの構成を示す斜視図

【図 2 0】

櫛歯構造の有無による応答特性の差を示す図

【図 2 1】

櫛歯の構造の形状を示すパラメータを示す図

【図 2 2】

内部応力と応答時間の関係を示す図

【図 2 3】

本発明の実施の形態 1 4 で示した櫛歯部分の形状の一例を示す図

【図 2 4】

本発明の実施の形態 1 4 で示した櫛歯部分の形状の一例を示す図

【図 2 5】

従来の技術によるスイッチを示す断面図

【図 2 6】

従来の技術によるスイッチの接続状態を示す断面図

【図 2 7】

従来の技術により可動電極を 2 方向に駆動する構造を有するスイッチの斜視図

【図 2 8】

従来の技術により櫛形電極を用いた微少部品駆動方式の斜視図

【符号の説明】

1 0 3、2 0 3、3 0 3、4 0 3、5 0 3 可動電極

1 0 7 可動電極側面凸部

1 0 4、3 0 4、5 0 4 可動電極駆動用固定電極

1 0 8 可動電極駆動用固定電極凸部

1 0 5、2 0 5、3 0 5、4 0 5、5 0 5 信号伝達用固定電極

9 0 5、1 1 0 6、1 2 0 5、1 3 0 6、1 4 0 6 犠牲層

9 0 7 レジストマスク

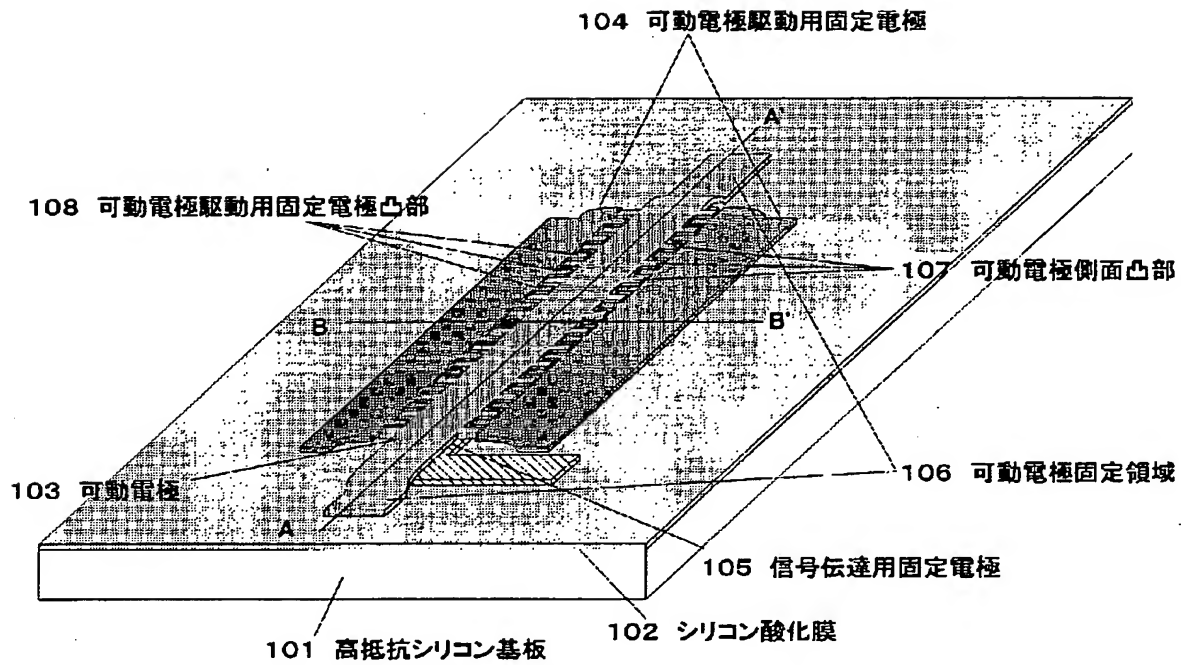


1205、1305 段差緩和用パターン

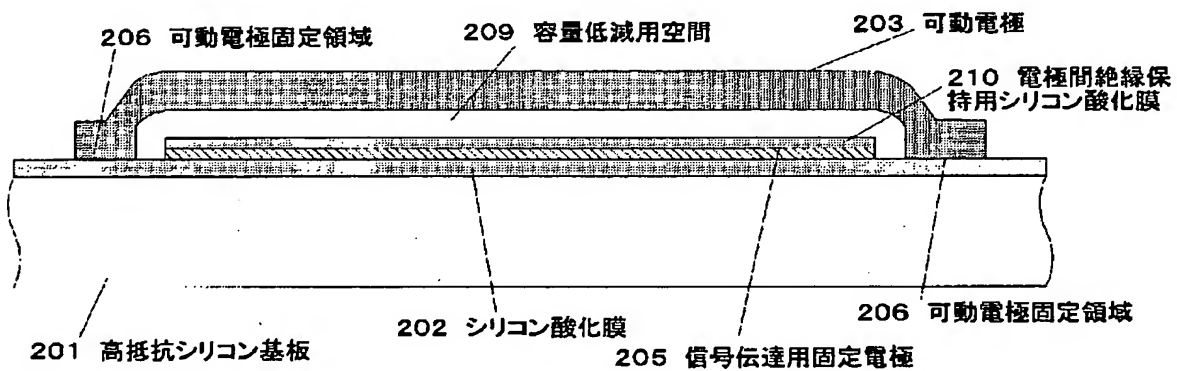
1612 犠牲層除去穴

【書類名】 図面

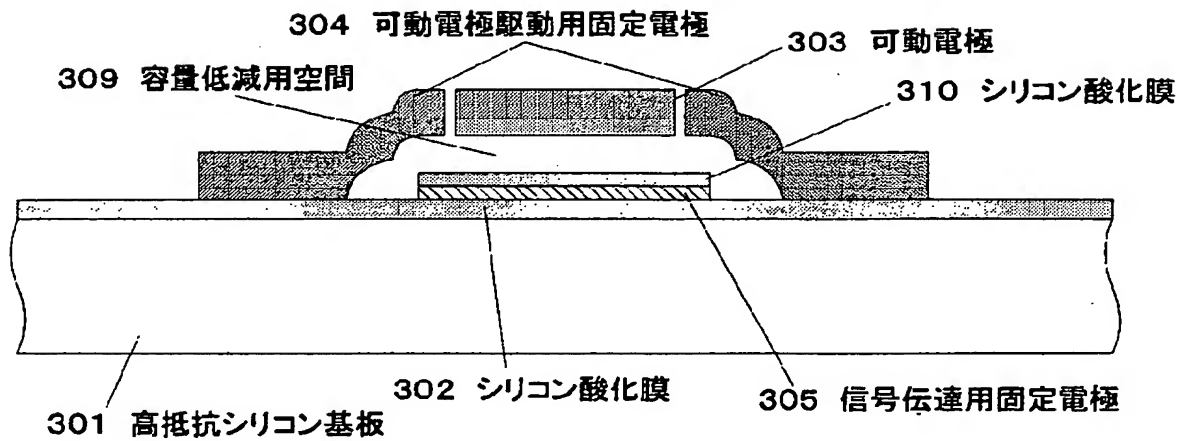
【図 1】



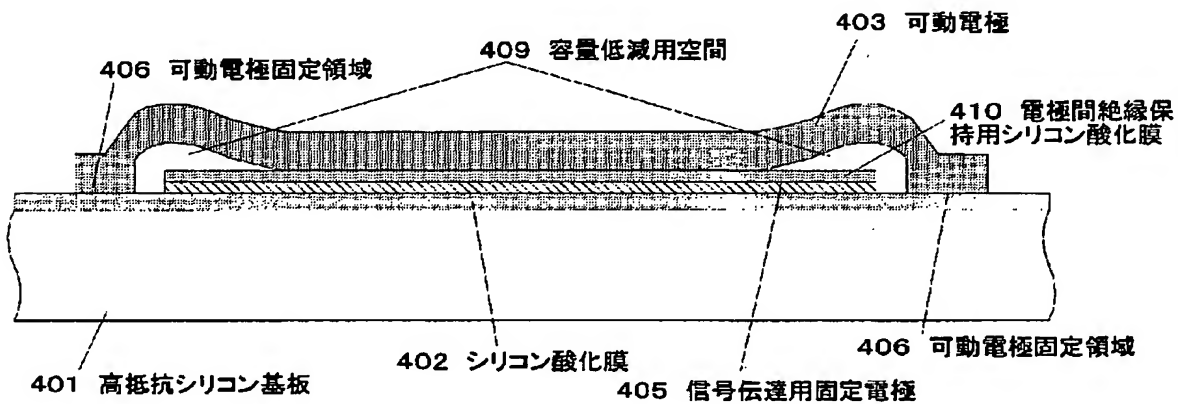
【図 2】



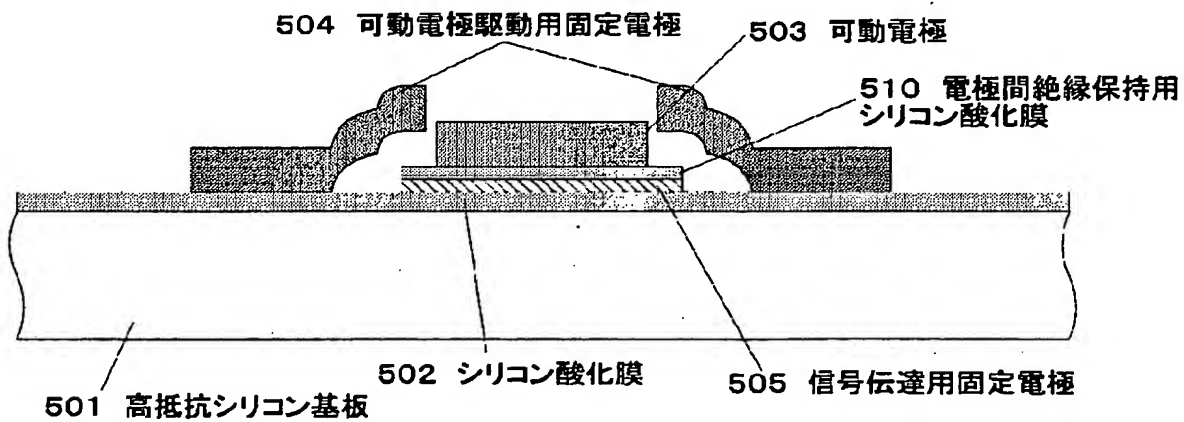
【図 3】



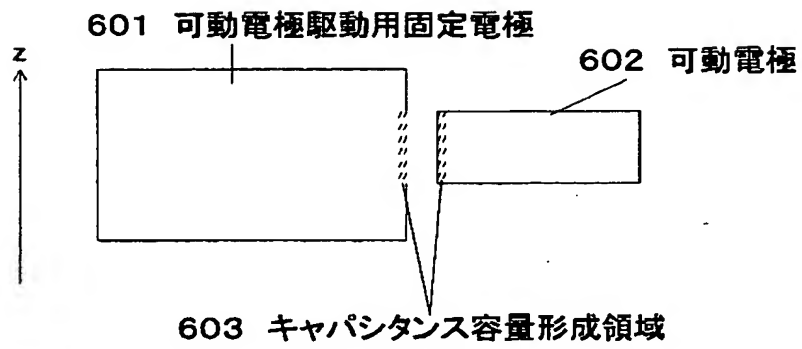
【図 4】



【図 5】

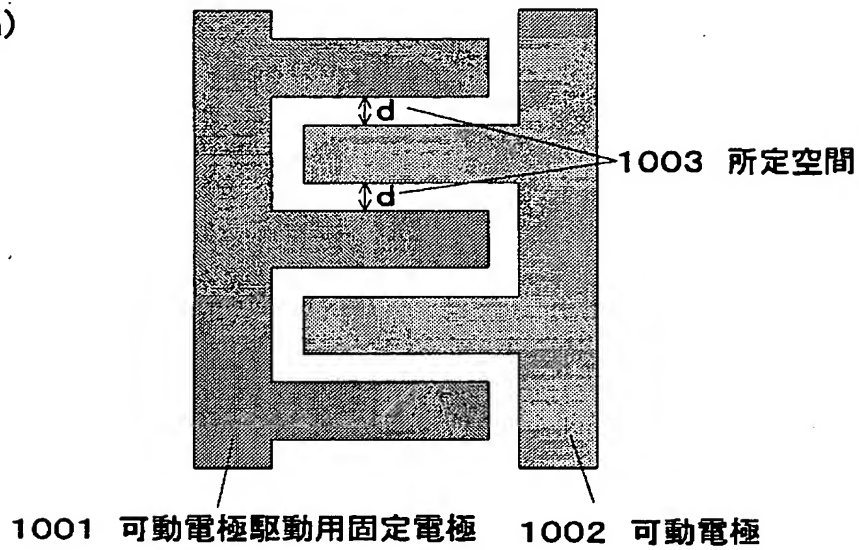


【図 6】

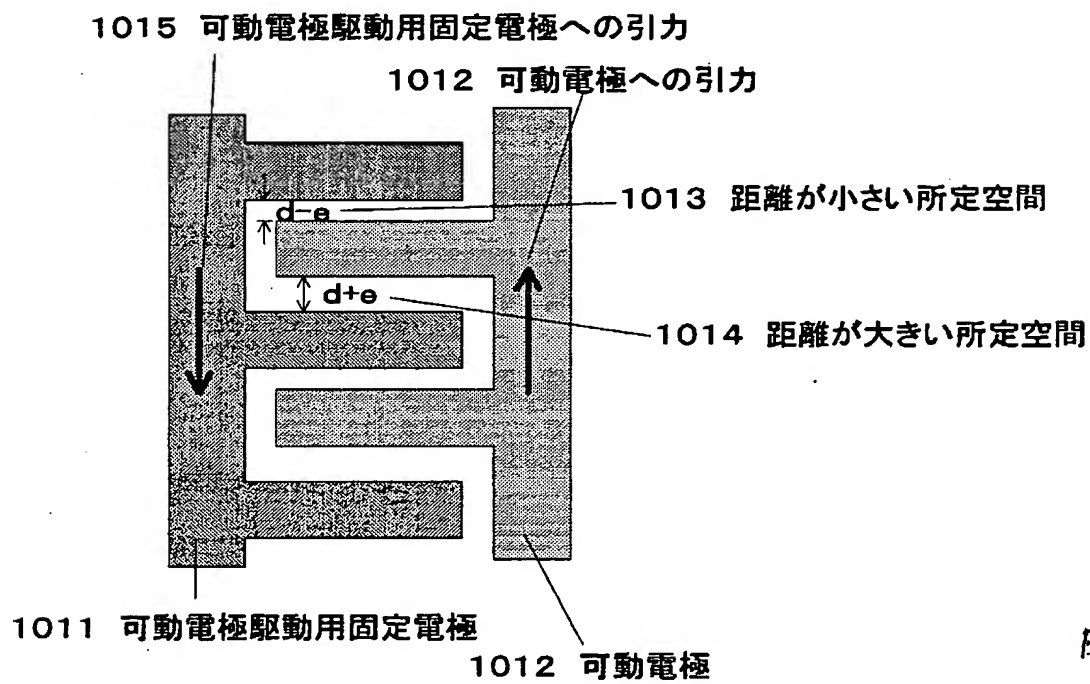


【図 7】

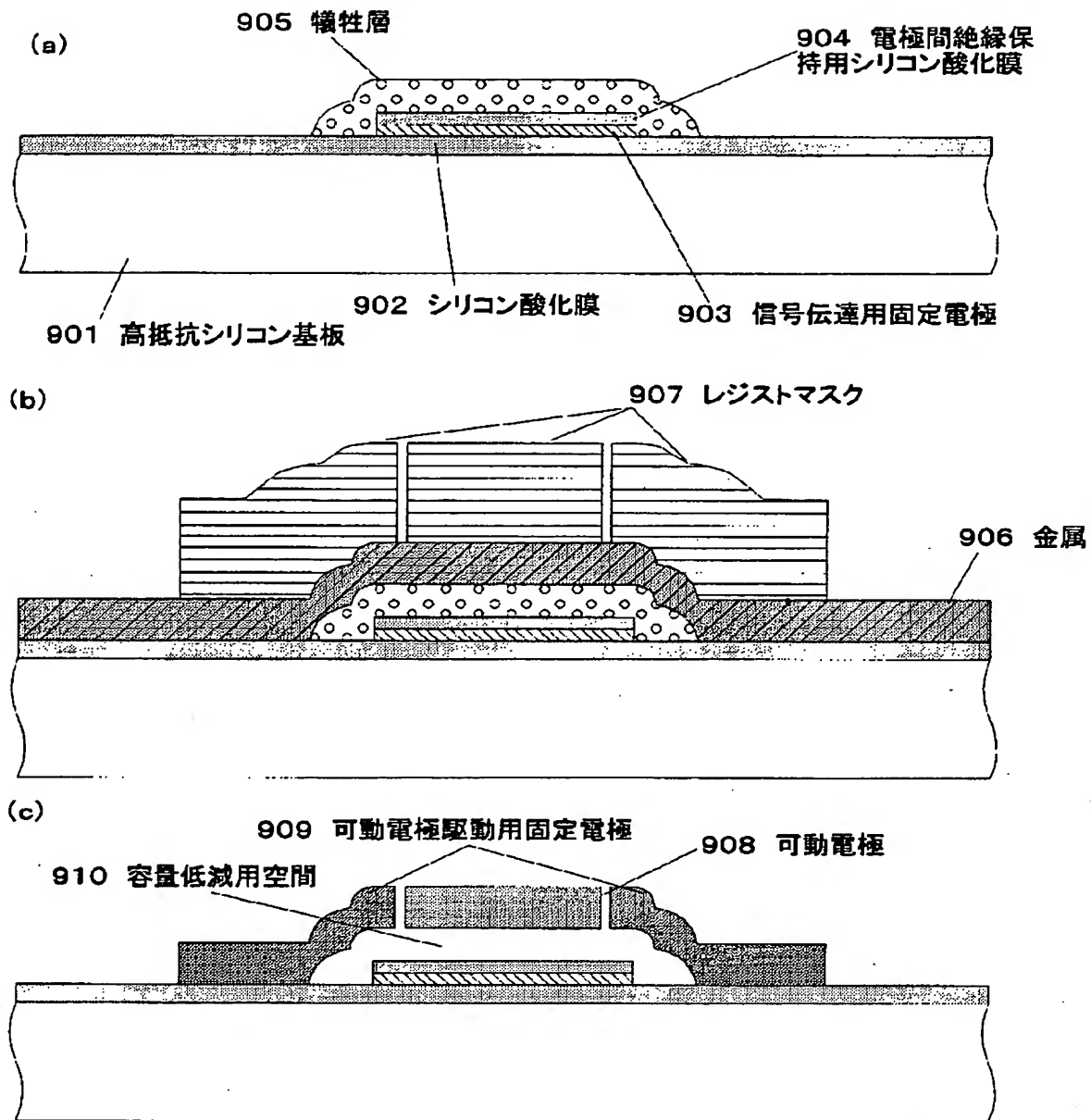
(a)



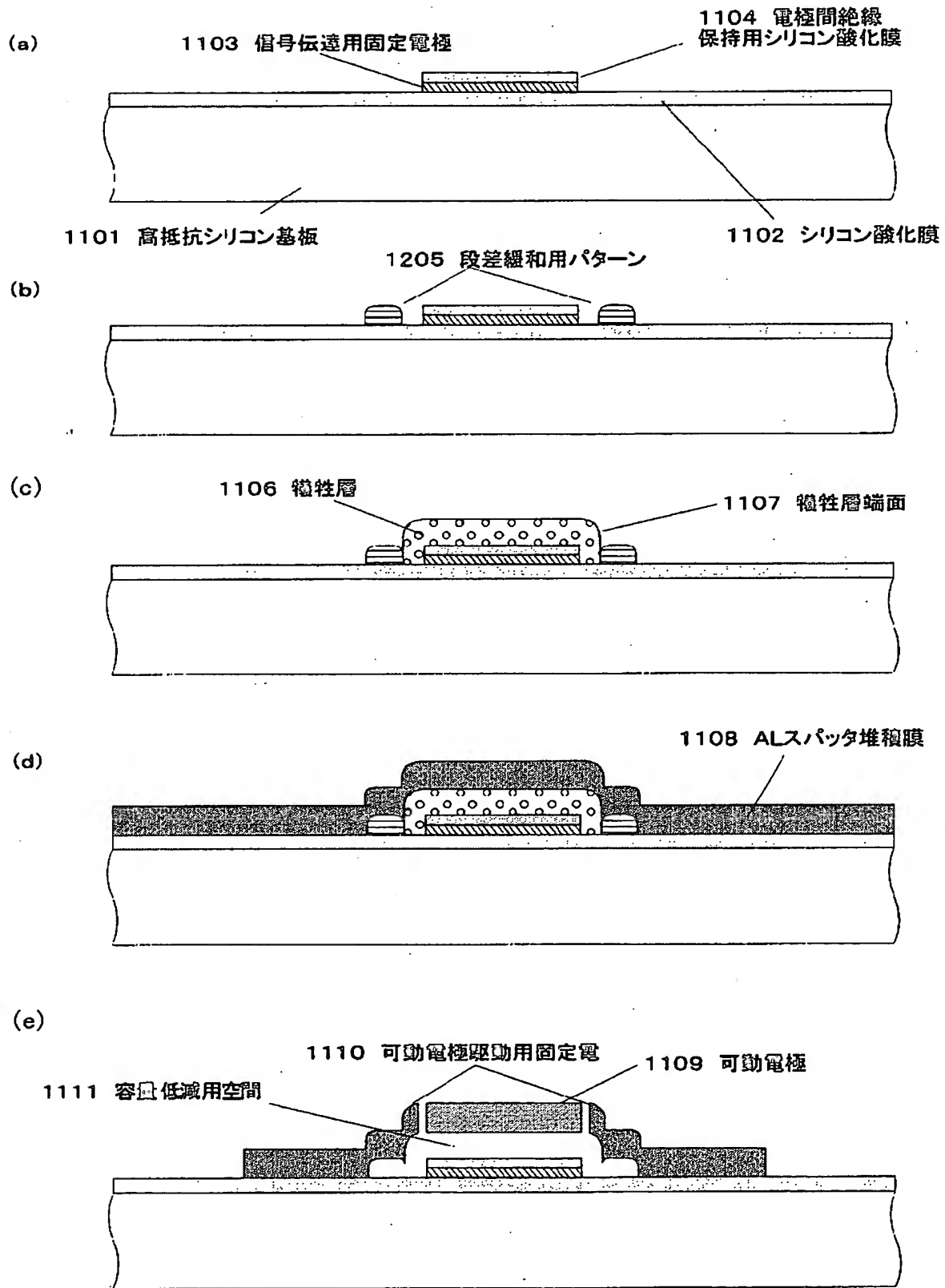
(b)



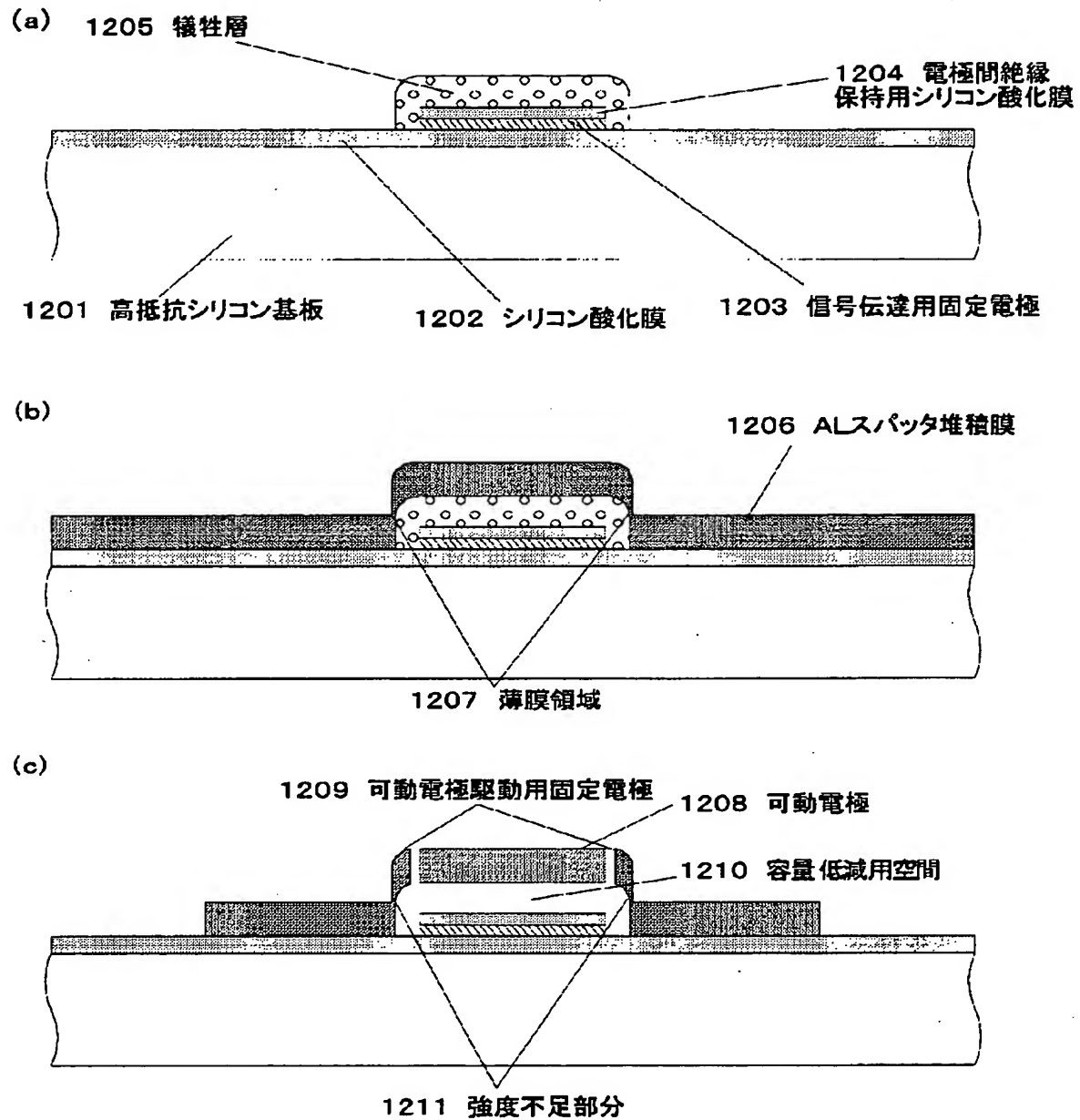
【図 8】



【図9】

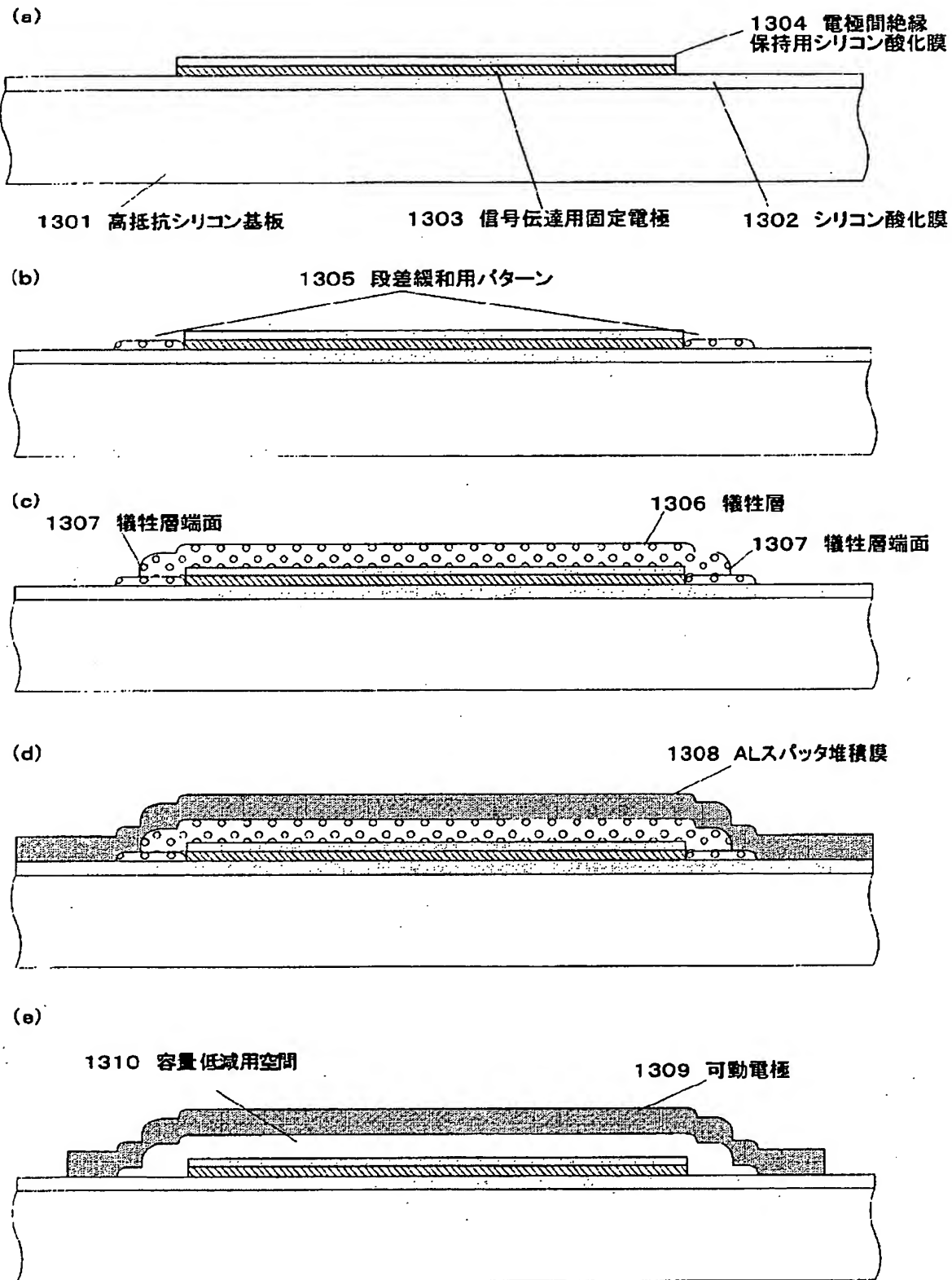


【図10】

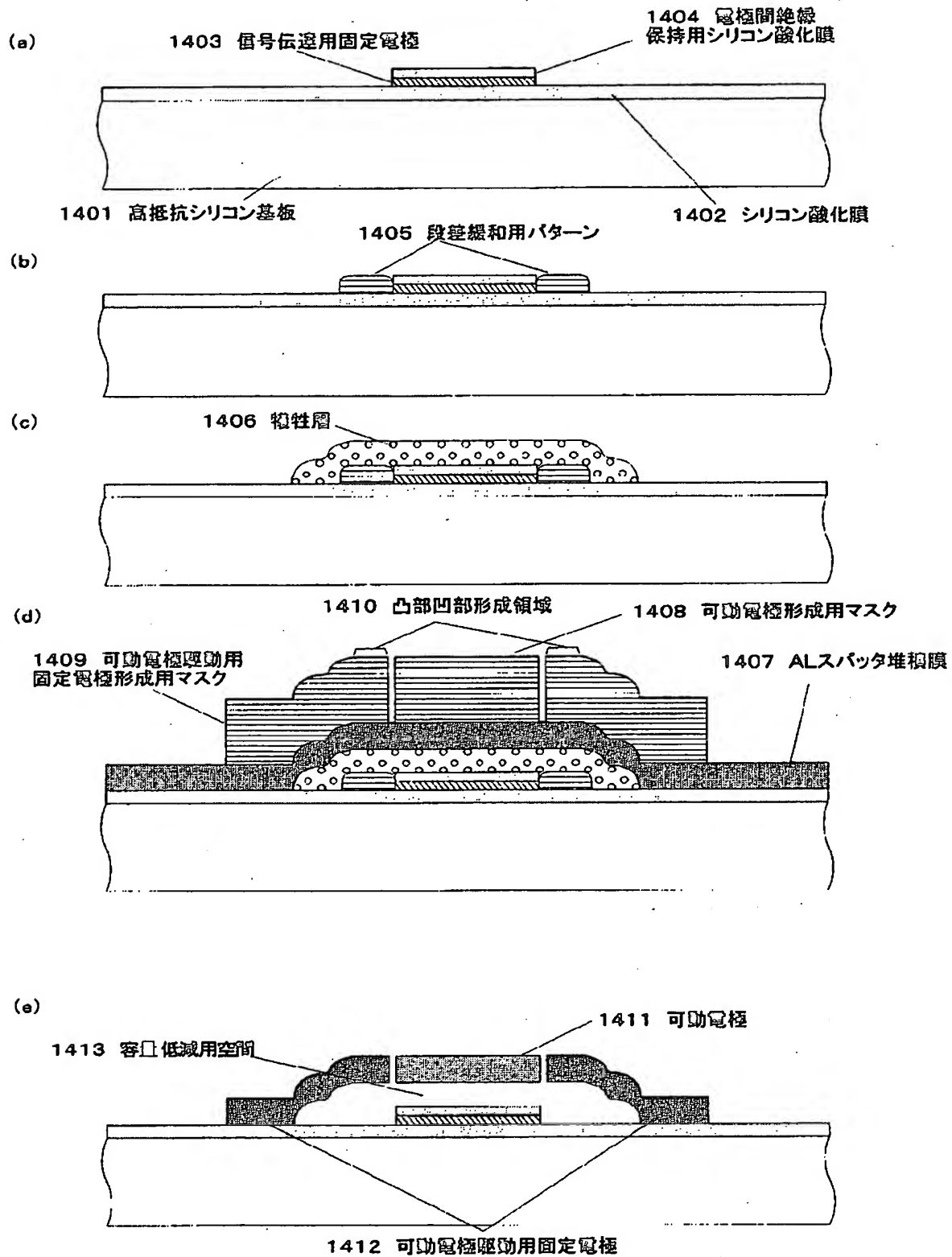




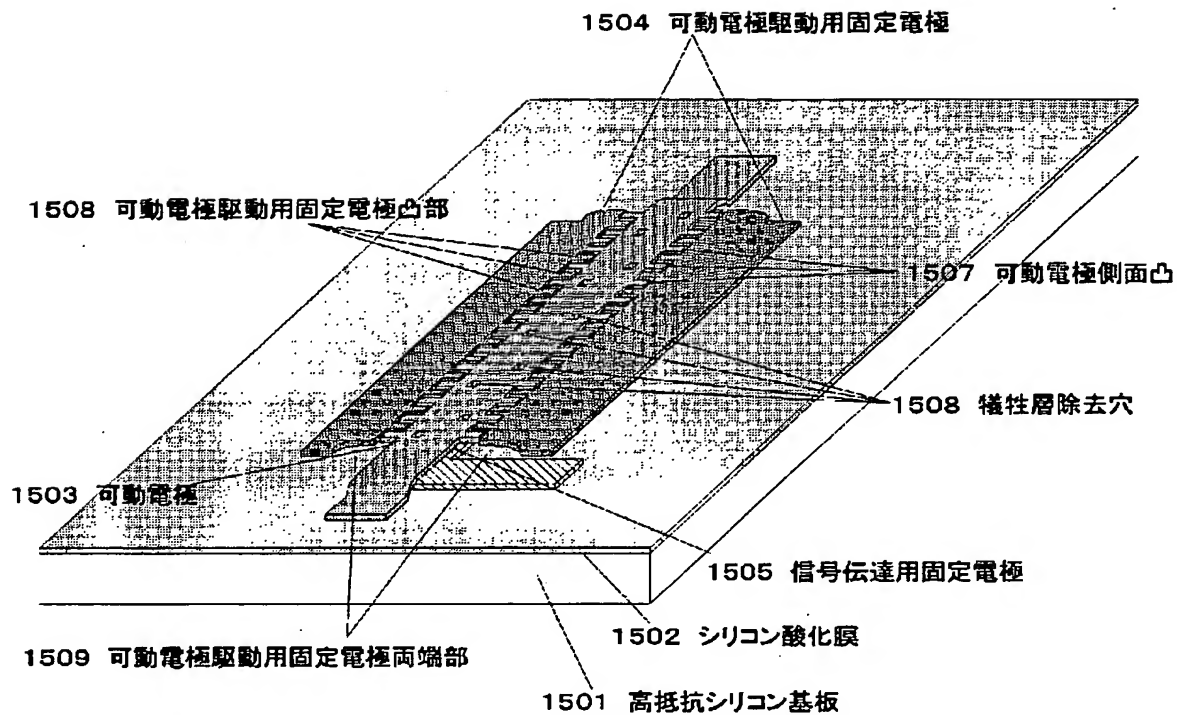
【図 11】



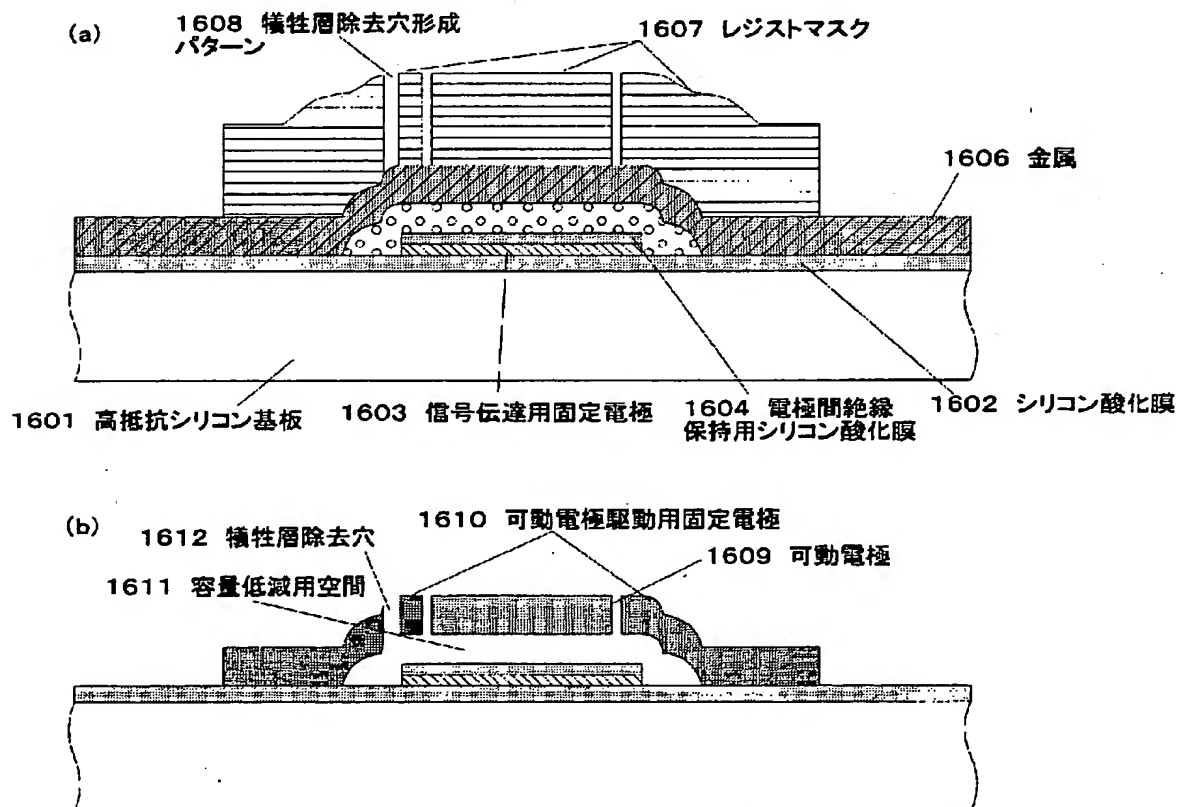
【図 12】



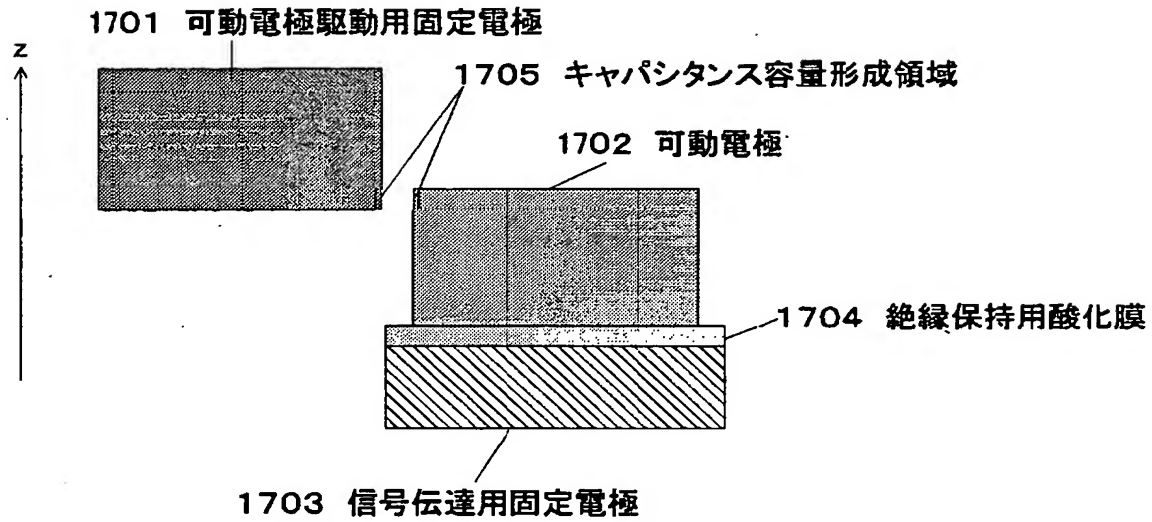
【図 13】



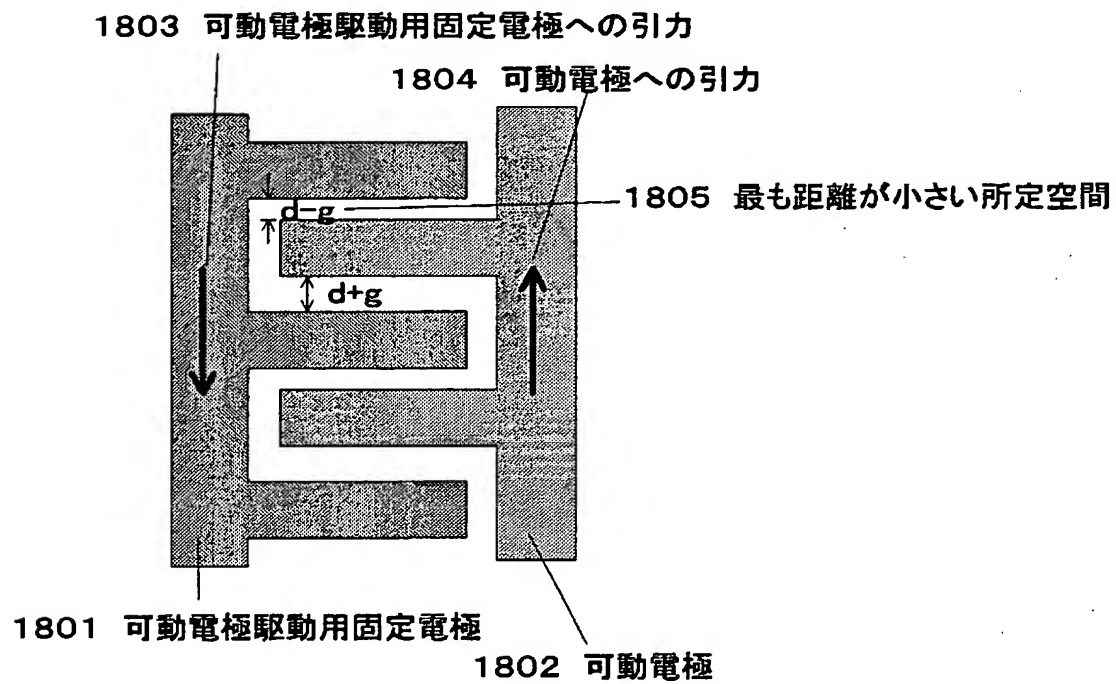
【図 14】



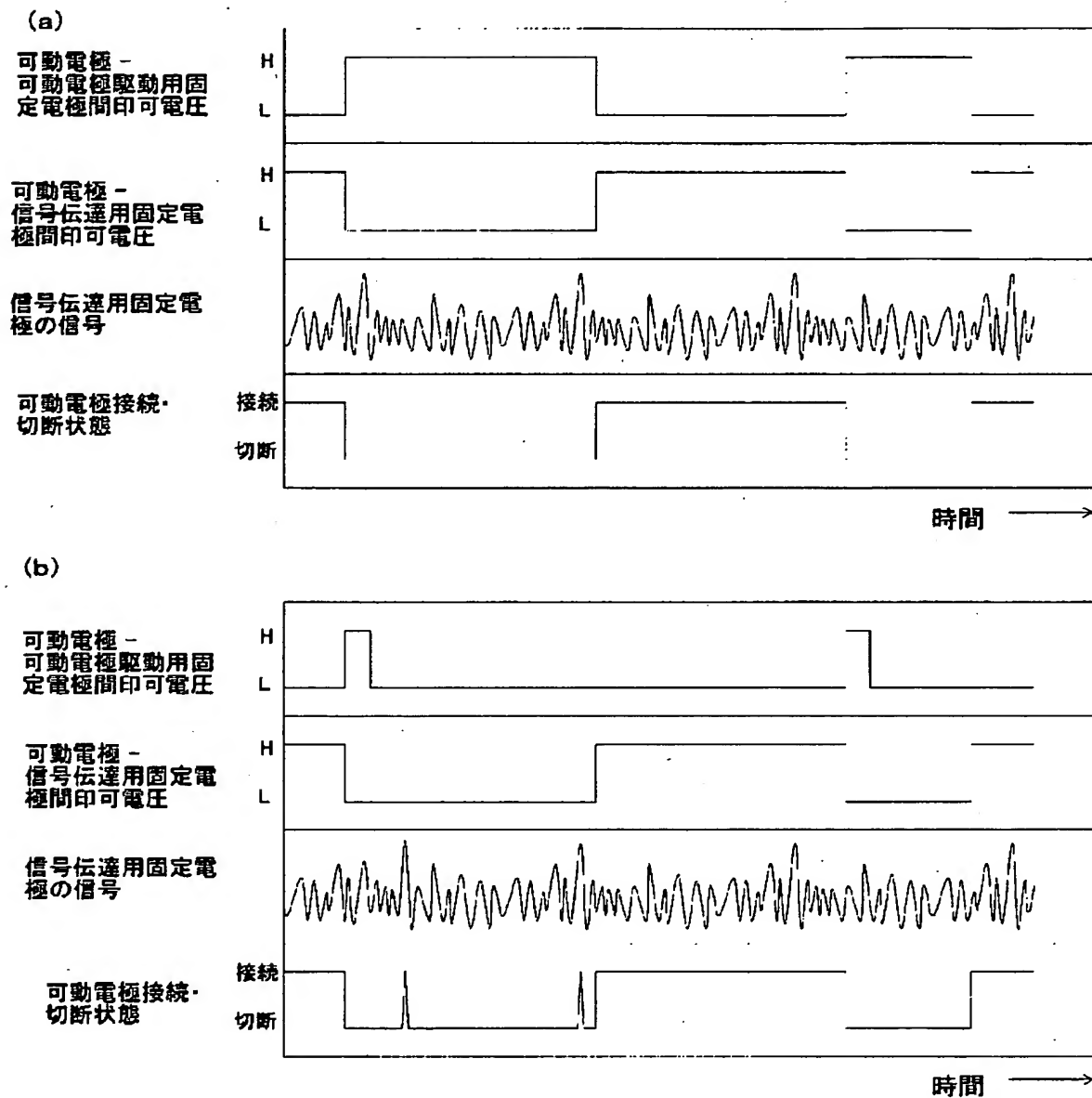
【図 15】



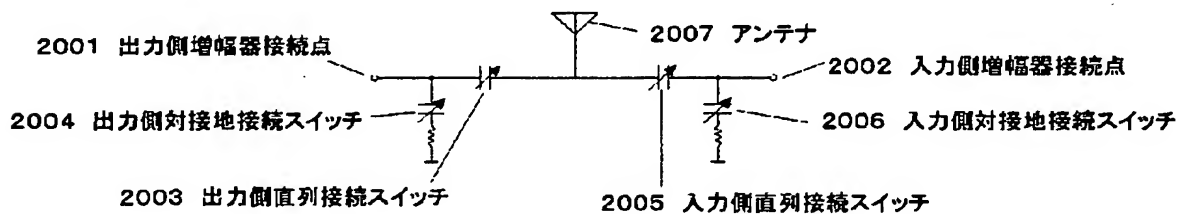
【図 16】



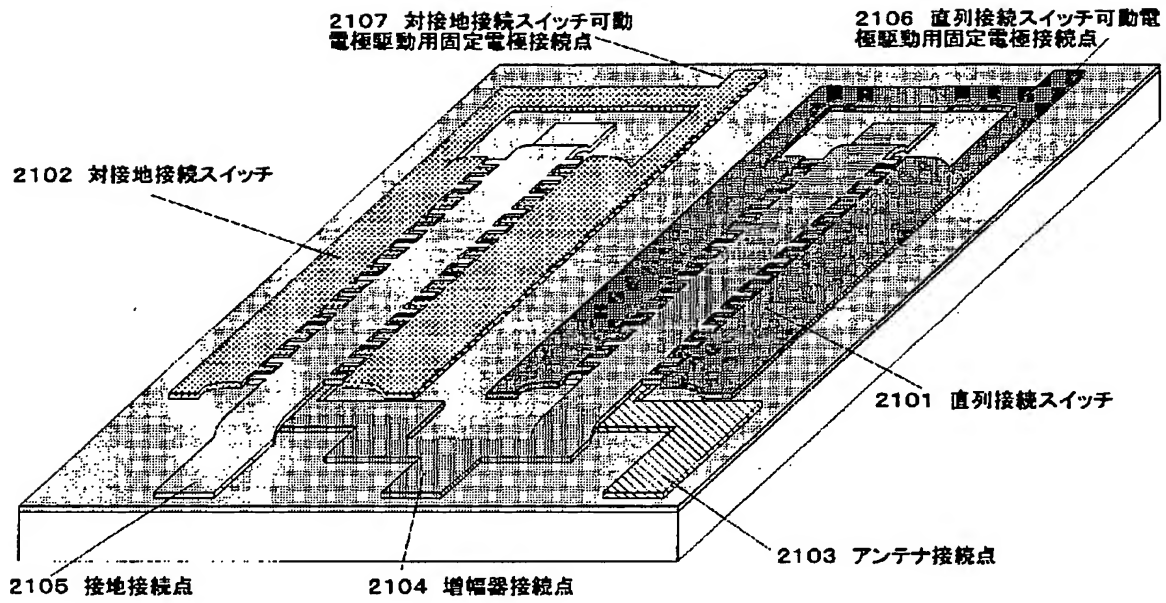
【図 17】



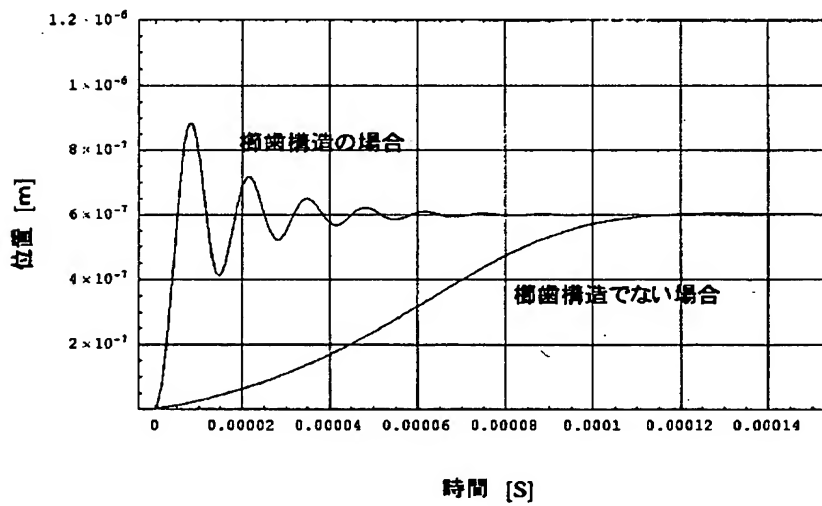
【図 18】



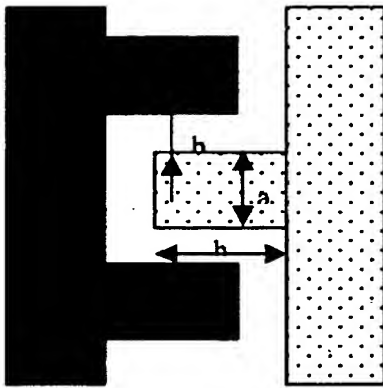
【図 19】



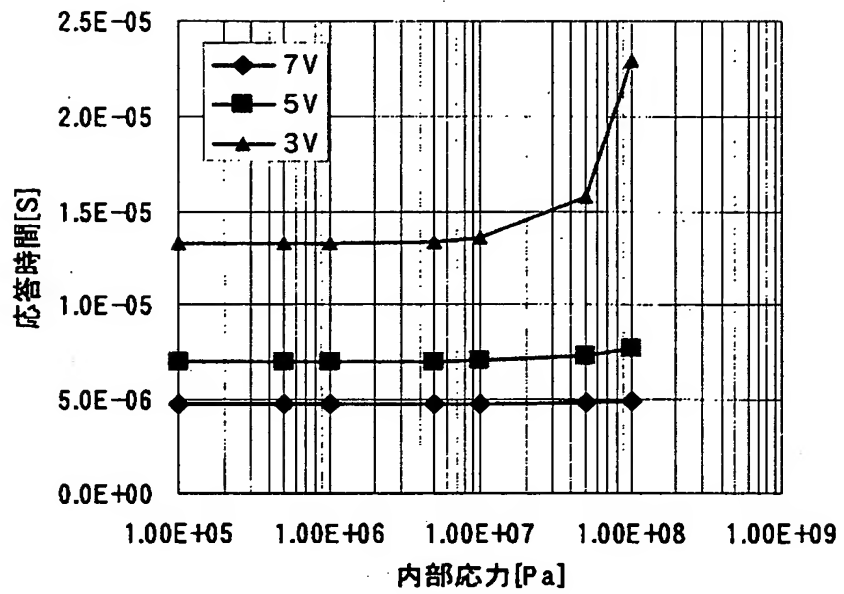
【図 20】



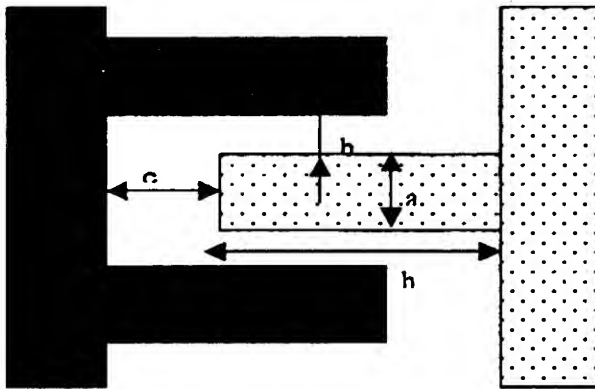
【図 2 1】



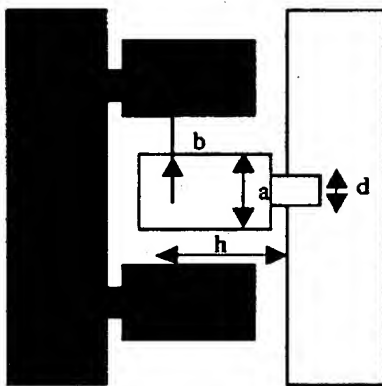
【図 2 2】



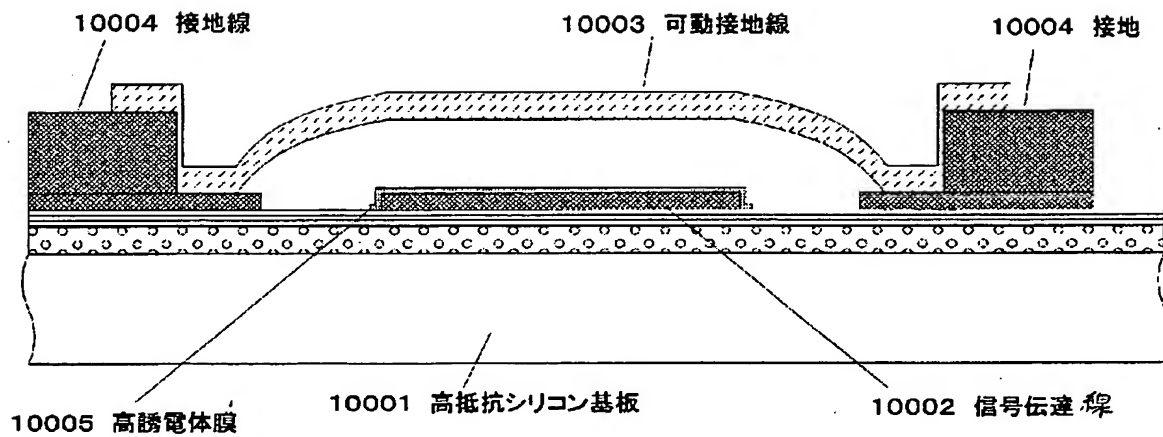
【図 23】



【図 24】

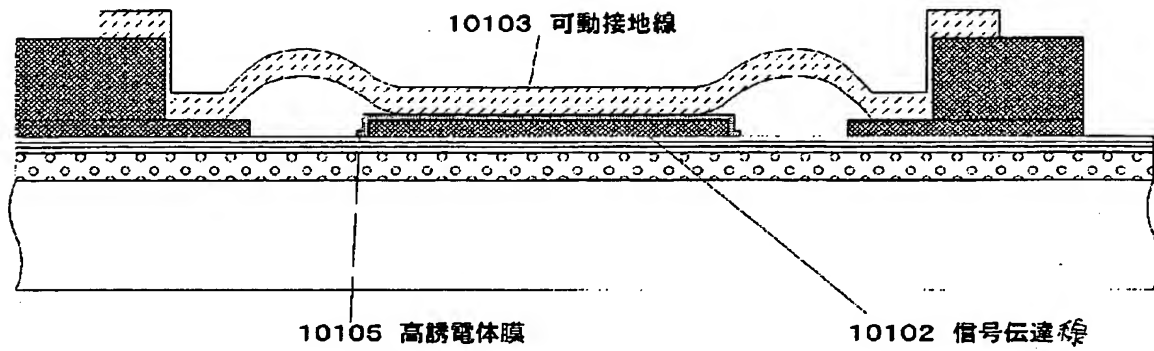


【図 25】

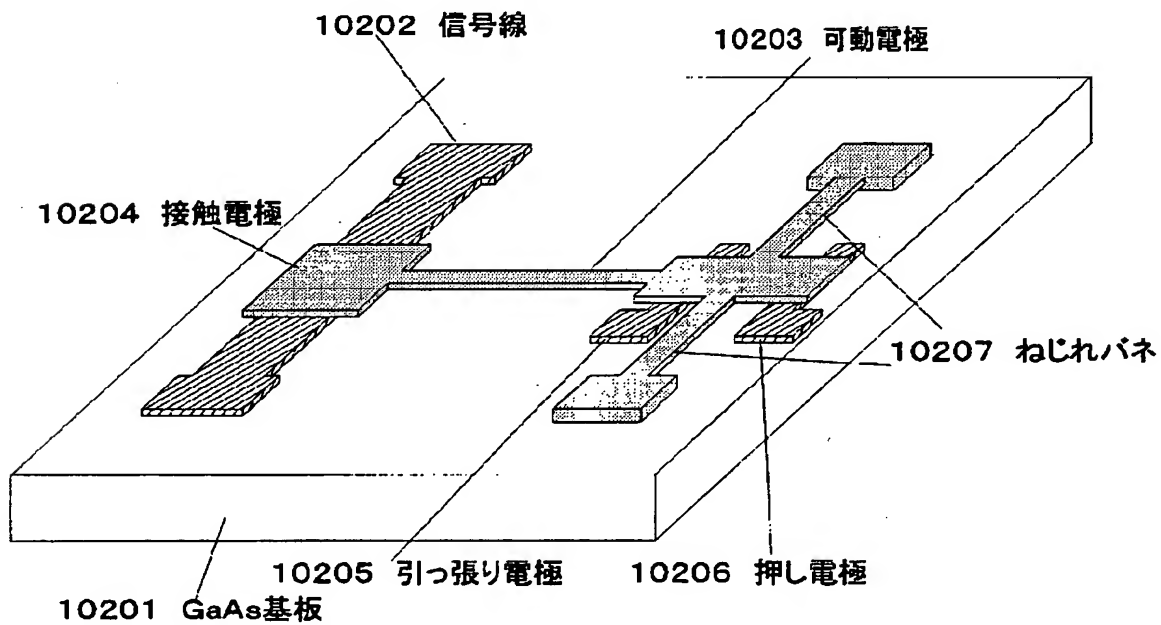




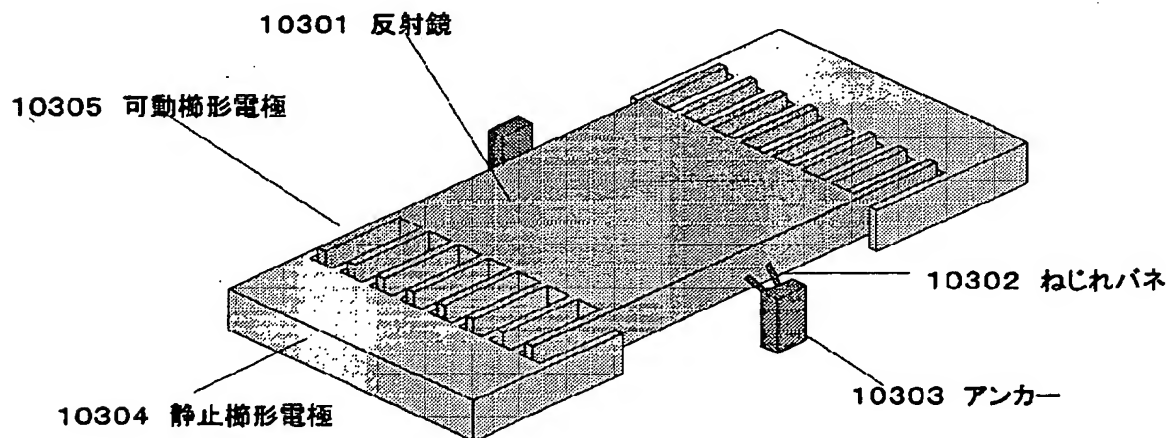
【図 26】



【図 27】



【図 28】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 複雑な工程を経ることなく従来の L S I プロセスとの親和性を得つつ、ON / OFF 時とも動作速度を向上させたスイッチを形成することである。

【解決手段】 可動電極 1 0 3 の側面に凹部と凸部を形成し、両端に空間を介して対応する凹部と凸部をもつ可動電極を駆動させるための電極を形成することで、複雑な工程を追加することなく OFF 時の動作速度を向上させることができる。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005821]

1. 変更年月日	1990年 8月28日
[変更理由]	新規登録
住 所	大阪府門真市大字門真1006番地
氏 名	松下電器産業株式会社